المركز القومى للترجمة

أعظم استعراض فوق الأرض

أدلة التطور

الجزء الثانى



تأليف: ريتشارد دوكنز

ترجمة: مصطفى إبراهيم فهمى



1919

أعظم استعراض فوق الأرض

أدلـــــة التطــور

(الجزء الثانى)

المركز القومى للترجمة

تأسس فى أكتوبر ٢٠٠٦ تحت إشراف: جابر عصفور

مدير المركز: رشا إسماعيل

- العدد: 1919
- أعظم استعراض فوق الأرض: أدلة التطور (الجزء الثانى)
- ريتشارد دوكنز
- مصطفى إبراهيم فهمى
- اللغة: الإنجليزية
- الطبعة الأولى 2014

هذه ترجمة كتاب:

THE GREATEST SHOW ON EARTH:

The Evidence for Evolution

By: Richard Dawkins

شارع الجبلاية بالأوبرا- الجزيرة- القاهرة. ت: ٢٧٣٥٤٥٢٤ فاكس: ٢٧٣٥٤٥٥٤

El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo.

E-mail: nctegypt@nctegypt.org Tel: 27354524 Fax: 27354554

أعظم استعراض فوق الأرض

أدلة التطور

(الجزء الثانى)

تـــأليـــف: ريـتـشـــارد دوكــنـز
تــرجمـــة: مـصـطـفى إبراهيم فهمى



2014

بطاقة الفهرسة
إعداد الهيئة العامة لدار الكتب والوثائق القومية
إدارة الشئون الفنية

دوكتر، ريتشارد

أعظم استعراض فوق الأرض: أدلة التطور (ج٢) تـأليف: ريتشارد دوكتر،

ترجمة: مصطفى إبراهيم فهمى

ط ١ – القاهرة: المركز القومى للترجمة، ٢٠١٤

٣٤٠ ص، ٢٤ سم

١ – التطور الاجتماعى

٢ – التغير الاجتماعى

(أ) فهمى، مصطفى إبراهيم (مترجم)

(ج) العنوان ٣٠١,٢٤

رقم الإيداع ٧٦٧٠ / ٢٠١١

الترقيم الدولى: I.S.B.N -978-977-704-611-4

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

المحتويات

الفصل الثامن

لقد فعلتها بنفسك
في تسعة أشهر

ج. ب. س. هالدين، ذلك العبقرى السريع الغضب، الذى أدى إنجازات علمية كثيرة إلى جانب أنه كان واحدًا من ثلاثة من قادة المهندسين المعماريين للداروينية الجديدة، هذا العبقرى تحدثه ذات مرة إحدى السيدات بعد إلقائه محاضرة جماهيرية. نُقلت هذه الحكاية شفاها عن جون ماينارد سميث، وهو بكل أسف ليس متاحا ليؤكد لنا كلمات الحوار المتبادل بالضبط ولكنه جرى تقريبًا كالتالى:

السيدة المتشككة في التطور: البروفيسور هالدين، حتى باعتبار بلايين السنين التى قلت إنها أتيحت للتطور، إلا أننى ببساطة لا أستطيع أن أؤمن بأن التطور يمكن أن ينطلق ابتداء من خلية وحيدة، ثم وصولا إلى الجسم البشرى المعقد، بما فيه من تريليونات الخلايا المنتظمة في عظام وعضلات وأعصاب، وقلب يظل يضخ بلا توقف لعقود من السنين، وأميال وأميال من الأوعية الدموية، والأنابيب الصغيرة للكلى، ثم المخ القادر على التفكير والحديث والشعور.

ج. ب. س: ولكن يا سيدتى، لقد فعلتها أنت بنفسك. ولم يستغرق ذلك منك إلا تسعة أشهر.

ربما تكون السائلة قد فقدت توازنها مؤقتًا نتيجة إجابة هالدين غير المتوقعة التى غيرت من اتجاه السؤال. أقل ما يقال أنه أحبط سؤالها برده الكيد إلى نحر صاحبه. إلا أن رد هالدين الحاسم هكذا ربما لا يؤدى إلى

إقناع هذه السيدة من أحد الجوانب. لست أدرى إن كانت السيدة قد سألته سؤالاً تكميليًا، ولكن لو أنها فعلت، فربما يكون ذلك كما في السطور التالية:

السيدة المتشككة في التطور: نعم، ولكن الجنين المتنامي يتبع تعليمات وراثية. إن هذه "التعليمات" لطريقة بناء جسد معقد، هي ما تزعم يا بروفيسور هالدين أنها تطورت بالانتخاب الطبيعى. ولا زلت أجد أن من الصعب علىّ أن أصدق ذلك، حتى لو أتيحت بلايين السنين لذلك التطور.

ربما يكون للسيدة هنا وجهة نظر وجيهة، وحتى عندما يثبت أن هناك قوى فوق طبيعية هي المسئولة في النهاية عن تصميم التركب في الحياة، فإن من المؤكد أن هذه القوى لا "تصوغ" الأجساد الحية بأى مما يشبه الطريقة التى يَعجن بها مثلا عاجنو الصلصال نماذجهم، أو التى ينجز بها النجارون أو الخزافون أو الخياطون أو منتجو السيارات مهام عملهم. ربما تكون "تنميتنا قد تمت على نحو رائع" ولكن "صنعنا لم يتم على نحو رائع". القوى فوق الطبيعية يمكن أن تشرف على الأمور في تنامى الجنين، كما مثلا عندما تُجدل معًا تتابعات الجينات التى توجه عملية التنامى الأوتوماتيكية. ولكنها لا تتدخل في تفاصيل ما بعد ذلك. ما تصنعه هذه القوى هو "الوصفة" الإمبريولوجية، أو شيئا ما مثل برنامج كمبيوتر للتحكم في تنامى الجنين. ما أريده هنا هو أن أوضح أن هناك تمييزًا بين "صنع" شىء كالأطراف وبين ما يحدث واقعيًا في الإمبريولوجيا.

يتوزع التاريخ القديم للإمبريولوجيا بين مبدأين متعارضين سُميا بالتخلق السبقى (التكوين المسبق) والتخلق المتعاقب. التمييز بين الاثنين ليس دائمًا مفهومًا بوضوح، وبالتالى سأنفق بعض وقت قليل في شرح هذين المصطلحين.

كان أتباع مبدأ التخلق المسبق يؤمنون بأن البويضة تحوى (هي أو الحيوان المنوى، ذلك أن أتباع هذا المبدأ كانوا ينقسمون فرعيا إلى أتباع "مذهب البويضة" إزاء أتباع "مذهب الحيوان المنوى")، طفلاً مصغرًا ضئيلاً أو بعض "قزم". أجزاء الطفل كلها موجودة في تشابك معقد في موضعها، وقد رتبت ترتيبًا صحيحًا أحدها بالنسبة للآخر، وهى تنتظر لا غير أن تُنفخ مثل ما يُنفخ بالون مقسم لأجزاء مستقلة. على أن هذا يثير مشاكل واضحة. **أولا:** هذه النظرة من التكوين المسبق هي على الأقل في شكلها الساذج القديم فيها أمر يعرف الجميع الآن وجوبًا أنه زائف: وهو أننا موروثون من واحد فقط من الوالدين – الأم بالنسبة للمدرسة البويضية، والأب بالنسبة للمدرسة المنوية. **ثانيا:** أتباع مذهب التخلق السبقى من هذا النوع عليهم أن يواجهوا أسلوبًا مثل أسلوب العرائس الروسية التى تدخل الصغيرة منها داخل الكبيرة، أسلوب من ارتدادًا لا نهائى للكائنات القزمة داخل كائنات قزمة – أو أنه إن لم يكن ارتدادا لا نهائيًا فإنه على الأقل يستمر طويلاً بما يكفى لأن يأخذنا وراء إلى حواء (أو إلى آدم بالنسبة للمنويين). المهرب الوحيد من هذا الارتداد هو أن يتم بناء الكائن القزم من جديد في كل جيل بواسطة عملية مسح بالغة الإتقان للجسم البالغ في الجيل السابق. هذا "التوارث للصفات المميزة المكتسبة" ليس مما يحدث – وإلا كان الأطفال

اليهود يولدون مختونين، وتم لمن يترددون على الجمنازيوم لبناء أجسامهم أن ينجبوا أطفالا بعضلات متينة في جدار بطنهم وصدورهم وإليتهم (ولكنها لا تماثل ما عند توائمهم الكسالى ممن يلازمون الأريكة بلا حراك)(*).

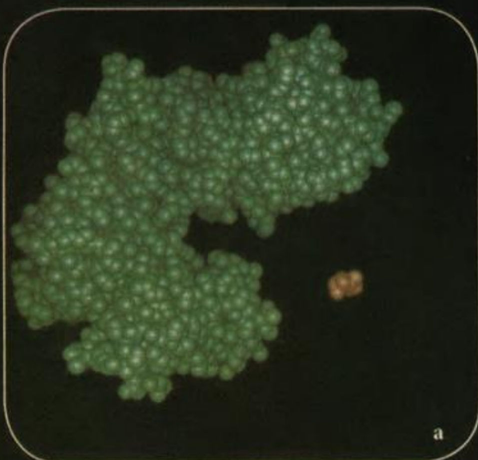
حتى نكون منصفين لأتباع التخلق السبقى فإنهم قد صمدوا بالفعل بمعنى الكلمة وبأمانة وتعقل تجاه الضرورة المنطقية لهذا الارتداد، مهما بدا ذلك سخيفًا. يؤمن البعض منهم على الأقل إيمانًا فعليًّا بأن أول امرأة (أو رجل) كانت تحوى أجنة مصغرة منمنمة لكل سلالتها، يتداخل أحدها في الآخر مثل العرائس الروسية. وهم بمعنًى ما معقول لديهم أن يؤمنوا بذلك: بمعنى جدير بأن نذكره؛ لأنه يشكل مسبقًا لب هذا الفصل. عندما نؤمن بأن آدم "مصنوع" وليس مولودًا، فإن هذا يتضمن أن آدم لم يكن لديه جينات – أو على الأقل لم يكن يحتاج إليها حتى يتنامى. ليس هناك إمبريولوجيا لآدم، وإنما هو فقط قد وثب إلى الوجود. هناك استنتاج له صلة بذلك قد أدى بالكاتب الفكتورى فيليب جوس (الأب في رؤية إدموند جوس "الأب والابن") إلى أن يؤلف كتابًا عنوانه "Omphalos" الكلمة الإغريقية للسرة، يحاج فيه بأن آدم لا بد وأن تكون له سرة، حتى وإن كان لم يولد بأى حال. إحدى النتائج الأرقى التى تترتب على الاستدلال السُرى هي أن النجوم التى تبعد عنا بأكثر من آلاف قليلة من السنوات الضوئية لا بد أنها قد تخلقت من أشعة ضوئية جاهزة الصنع مسبقًا تمتد تقريبًا بطول كل المسافة إلينا – وإلا لما تمكنا من رؤيتها إلا في المستقبل البعيد! السخرية من المبدأ السُرى تبدو فيها العبثية، إلا أنه يوجد ها هنا نقطة جادة

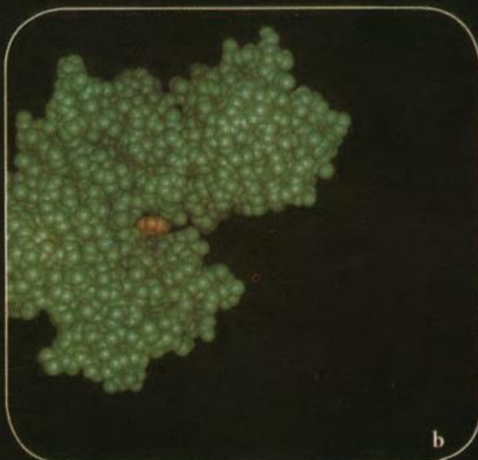
(*) إشارة لتجارب أجريت للمقارنة بين تأثير النشاط والكسل في عمر وصحة الأفراد التوائم. (المترجم)

بشأن الإمبريولوجيا موضوع هذا الفصل، وهى نقطة يصعب تمامًا استيعابها – الحقيقة أنى لا زلت أنا نفسى أبذل جهدى لاستيعابها – ولا زلت أقترب منها من اتجاهات مختلفة.

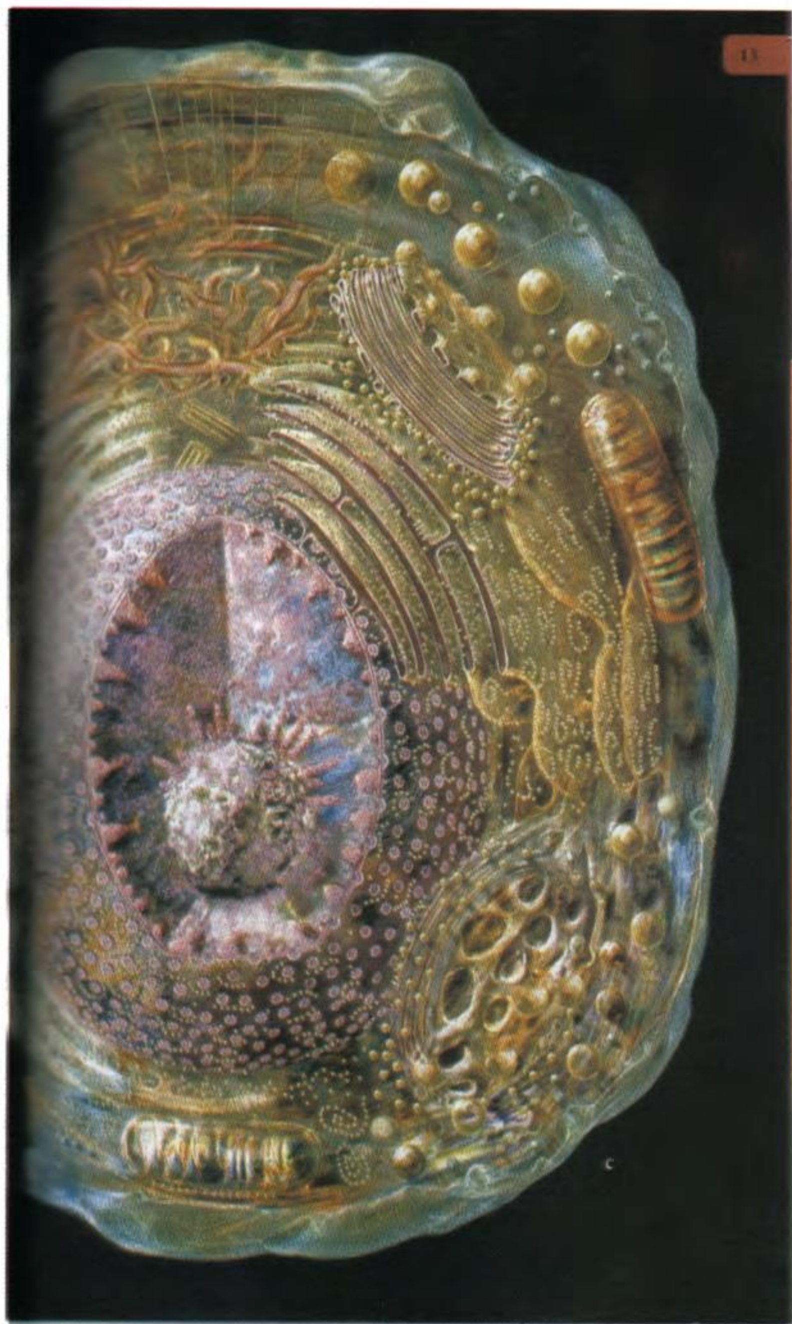
مبدأ التخلق السبقى نتيجة للأسباب السابق ذكرها، وعلى الأقل في نسخته الأصلية من نمط "العرائس الروسية "، قد ظل دائمًا مبدأ غير صالح كبداية، هل توجد نسخة من هذا المبدأ يمكن على نحو معقول إعادة إحيائها في عصر دنا ؟ حسن، قد يكون ذلك ممكنًا، وإن كنت أشك فيه. كتب البيولوجيا الدراسية تكرر المرة بعد الأخرى أن D N A هو "طبعة التصميم الزرقاء"(*) لبناء الجسم. ولكنه في الحقيقة. ليس كذلك. طبعة التصميم الزرقاء للسيارة مثلا أو للمنزل تجسد خريطة لتنفيذ كل جزء من التصميم منقولاً من الورق ليصبح جزءًا في المنتج النهائى. يترتب على ما سبق أن طبعة التصميم الزرقاء قابلة لأن تُعكس. من السهل أن ننطلق من المنزل لنصل إلى طبعة التصميم الزرقاء بالالتفاف وراء في الطريق نفسه، وذلك حاصل بالضبط لأن هناك رسم لخريطة يتماثل فيها الجزء الواحد في المنزل مع جزء يناظره في التصميم؛ الواقع أن الأمر هنا أسهل، لأنه بالنسبة للمنزل يكون عليك أن "تبنيه"، وليس عليك هنا إلا أن تأخذ بعض المقاسات، ثم "ترسم" طبعة التصميم الزرقاء. أما إذا أخذت جسد حيوان، فمهما أخذت له من مقاسات تفصيلية، لن تستطيع أن تعيد بناء D N A . هذا ما يجعل من القول بأن D N A طبعة تصميم زرقاء قولاً كاذبًا.

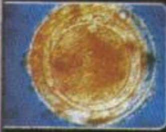
(*) طبعة التصميم الزرقاء صورة فوتوغرافية فيها تخطيط لتصميم معمارى أو ميكانيكى مرسوم في خطوط بيضاء على خلفية زرقاء ، ويتم على أساسه تنفيذ التصميم لصنع بناء معمارى مثلا أو ماكينة. (المترجم)





(a) و (b) هذا الجزئ الأخضر الكبير هو إنزيم الهكسوكينيز، وهو إنزيم مهم في عملية معالجة الجلوكوز (الجزئ الصغير البنى) بأن يضيف إليه فوسفات . الفك المفتوح في (a) (الموضع النشط للإنزيم) يطبق على الجلوكوز (b) ويظل ممسكا به أثناء إضافة الفوسفات ثم يطلقه. (c) تبين كيف أنه حتى الخلية الواحدة يكون منها كيان معقد لدرجة مذهلة . هذه الخلية الواحدة أبعد من أن تكون كيس مملوء بعصارة، وإنما تحتشد فيها ماكينات غشائية متقنة واحزمة نقل للجزيئات . مفتاح فهم الطريقة التى يجمّع بها هذا التركب معا هى أن الأمر كله يتم صنعه موضعيا ، بأن تذعن كيانات صغيرة للقواعد "الموضعية" .





a



c



b



d



مراحل في تنامى الإنسان : البويضة المخصبة أو الزيجوت (a) تنقسم إلى خليتين (b) ثم أربع ، ثم ثمان (c) ثم ست عشرة (d) ، وكل هذا دون أى زيادة في الحجم الكلى . عند اليوم العاشر تنغرس المضغة في جدار الرحم (e). عند اليوم العشرين يبدأ تكوين الأنبوبة العصبية (f). عند اليوم الرابع والعشرين (g) يشبه الجنين سمكة ضئيلة الحجم. عند اليوم الخامس والعشرين (h) يأخذ الوجه يتكون . الثقوب الصغيرة قرب ظهر الرأس هي الآذان للجنين .



f

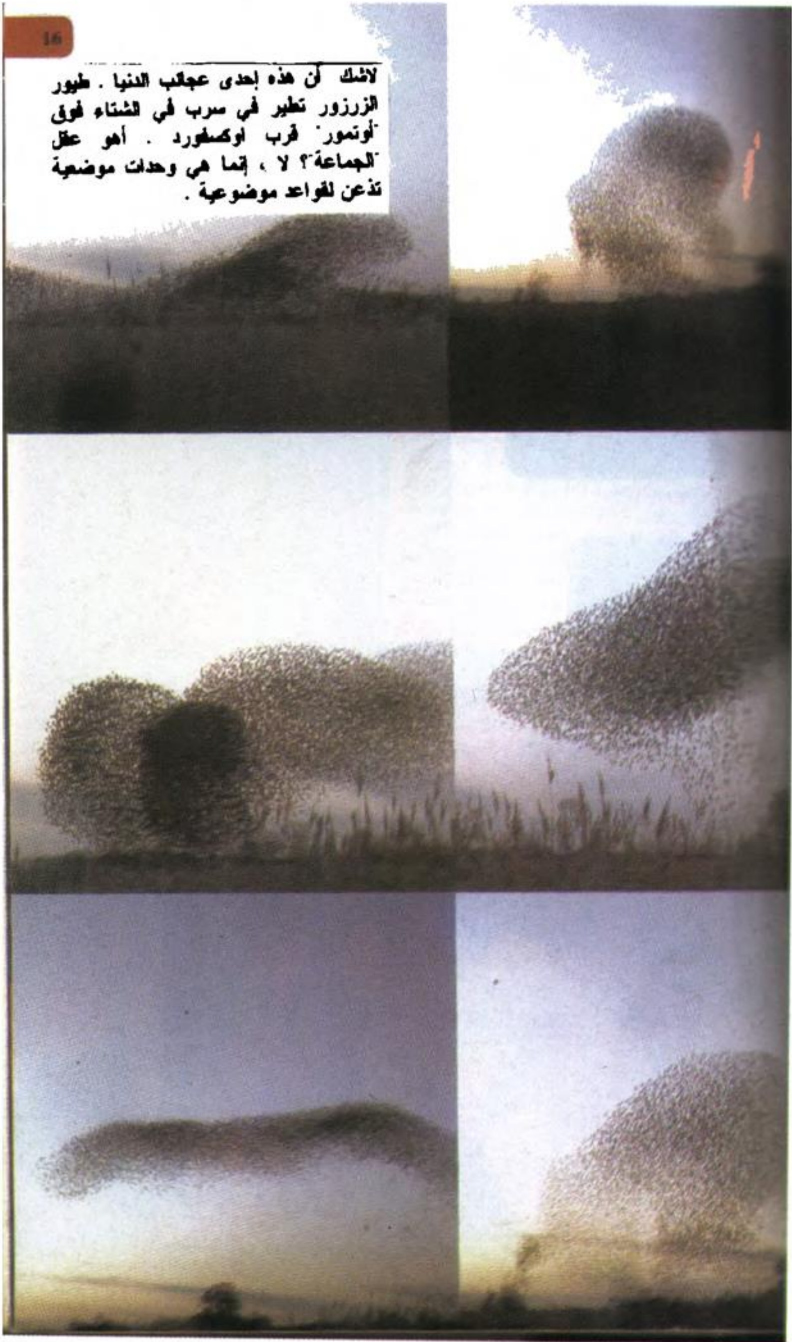




h



الجنين في عمر خمسة لسنة أسابيع (i) يبدأ في أن يشبه الرضيع ، ويواصل النمو مع تغير في النسب حتى الميلاد (m) وما بعده .



لاشك أن هذه إحدى عجائب الدنيا . طيور الزرزور تطير في سرب في الشتاء فوق "أوتمور" قرب اوكسفورد . أهو عقل "الجماعة"؟ لا ، إنما هي وحدات موضعية تذعن لقواعد موضوعية .

من الممكن نظريًا أن نتخيل أن D N A ربما يكون وصفًا مشفرًا للجسم – ربما تكون هذه طريقة أداء الأمور فوق بعض كوكب أجنبى – وهكذا يكون هذا الوصف نوعًا من خريطة ثلاثية الأبعاد حُولت إلى الشفرة الخطية "لحروف" D N A. سيكون هذا قابلاً للعكس حقًا. بهذا فإن إجراء مسح للجسم لصنع طبعة تصميم زرقاء وراثية قد لا يكون بالفكرة السخيفة تماما. لو كانت هذه هي الطريقة التى يعمل بها D N A ، لأمكننا عندها تمثيلها كنوع جديد من مبدأ التكوين المسبق. لن يؤدى ذلك إلى إثارة فكرة العرائس الروسية. إلا أنه ليس من الواضح لى إن كان هذا سيؤدى إلى إثارة فكرة التوارث من أحد الوالدين فقط. الواقع أن D N A يمثل طريقة دقيقة مذهلة تُجدل بها معًا نصف المعلومات الأبوية مع النصف بالضبط من المعلومات الأُمِّيَّة، ولكن كيف يمكن أن يقوم D N A بجدل نصف مسح لجسد الأم مع نصف مسح لجسم الأب ؟ دعنا نتجاوز ذلك: فهذا كله بعيد تمامًا عن الواقع.

وإذن، فإن D N A على وجه التأكيد ليس طبعة تصميم زرقاء. الأجساد الحقيقية تختلف عن جسد آدم الذى صيغ مباشرة في شكله البالغ، فالأجساد الحقيقية، بخلاف آدم، تتطور وتنمو من خلية واحدة من خلال المراحل التوسطية للمضغة، فالجنين، فالرضيع، فالطفل، فالبالغ. ربما قد يحدث في بعض عالم أجنبى عنا أن تقوم الكائنات الحية بتجميع نفسها من قمتها لأخمصها كمجموعة منتظمة من قراءة لبيكسلات(*) حيوية ثلاثية الأبعاد، تُقرأ من خط مسح مشفر. إلا أن هذه ليست الطريقة التى تجرى

(*) البيكسل: نقطة ضوئية هي أصغر عنصر له لمعان وضوء محكومان في عرض للفيديو أو لجرافيات الكمبيوتر. (المترجم)

بها الأمور فوق كوكبنـا، والواقـع أنـى أعتقـد أن هنـاك أسـبابًا – سـبق أن عالجتها في مكان آخر؛ ولذا لن أتناولها هنا – تجعل مـن غيـر الممكـن بـأى حال أن يكون الأمر هكذا فوق أى كوكب(١).

البديل التاريخى لمبدأ التكوين المسبق هـو مبـدأ التخلـق المتعاقـب. إذا كان التكوين المسبق يدور أمره كلـه حـول طبعـات التـصميم الزرقـاء، فـإن التخلق المتعاقد يدور أمـره حـول شـىء أكثـر شـبهًا بالوصـفة أو برنـامج الكمبيوتر. يـرد فـي "قـاموس أوكـسفورد المختـصر للإنجليزيـة " تعريفًـا للتخليق المتعاقب يُعد حديثًا إلى حد كبيـر، ولا أظـن أن أرسـطو الـذى سـك هذا المصطلح سوف يقر بهذا التعريف:

---

(١) هامش للمحترفين عند الحيز المشترك بين البيولوجيين وعلماء الكمبيوتر:

يوضح تشارلز سيموناى الأمر، وهو يتحدث بمرجعيته كمصمم برمجيات بارز، فيقول بعد أن قرأ مسودة مبكرة لهذا الفصل: "... الوصفة (للعين، أو المخ، أو الدم، إلخ.) هي أبسط كثيرًا جدًا من طبعة التصميم الزرقاء للأعضاء نفسها (بلغة من "البتـات bits" أو أزواج القواعـد) وإلا فإن التطور سيكون مستحيلاً حرفيًا (في أقل من ١٠ ٨ ١٠٠ سنة) خاصة لأن التغايرات الصغيرة في طبعة التصميم الزرقاء ليس من المرجح أن يكون لها أى تأثير إيجابى، في حين أن أى تغاير في الوصفة سيكون له تأثير إيجابى". بالإشارة إلى "البيومورفات" و"المفـصلمورفات" التى طورتُها على الكمبيوتر الخاص بى (انظر الفصل الثانى) فإن دكتور سيموناى يواصـل القول بأن: "الكائنات الاصطناعية التى (برمجتها من أجل كتابى "صانع الـساعات الأعمـى" و"تسلق جبل غير المحتمل" كلها تم تصويرها عن طريق وصفات وليس عن طريـق طبعـة تصميم زرقاء. طبعة التصميم الزرقاء ستكون مجرد خلط غير منتظم لاتجاهـات لخطـوط سوداء – هل نستطيع أن نتخيل أن تجرب عليها محاولة للتطور بأن تغير مـن نقـط انتهـاء الخطوط السوداء واحدًا في كل مرة أو حتى اثنين في كل مرة ؟ " كما نتوقع مما قالـه بيـل جيتس، أحد أعظم مبرمجى العصر كله، فإن الوصفة هي ما يناسـب بالـضبط بيومورفـات الكمبيوتر، وهى بكل تأكيد ما يناسب الكائنات الحية أيضًا.

التخلق المتعاقب: نظرية لتنامى الكائن الحى عن طريق تمايز يتقدم ابتداء من كيان هو لشىء كلى غير متمايز أصلاً[1] (*).

في كتاب "مبادئ النمو" الذى ألفه لويس ولبرت وزملاؤه، وصف للتخلق المتعاقب على أنه فكرة بأن تنشأ بنيات جديدة على نحو يتقدم في تعاقب. التخلق المتعاقب هو في حد ذاته صادق بأحد المعانى، إلا أن التفاصيل لها أهميتها، والشيطان يكمن في الشعارات. ما هي الطريقة التى يتنامى بها الكائن الحى بالتقدم في تعاقب ؟ كيف "يعرف" كيان هو لكل غير متمايز أصلاً الطريقة ليتمايز بالتقدم في تعاقب، إن لم يكن ذلك باتباع طبعة تصميم زرقاء؟ هناك أمر أود أن أميزه في هذا الفصل، وهو يناظر إلى حد كبير التمييز بين مبدأى التكوين المسبق والتخلق المتعاقب؛ هذا الأمر هو التمييز بين المعمار المخطط و"التجميع الذاتى". معنى المعمار المخطط واضح لنا؛ لأننا نراه فيما حولنا في مبانينا ومصنوعاتنا الأخرى. التجميع الذاتى غير مألوف إلا بدرجة أقل، ولعله سيحتاج لبعض عناية منى. التجميع الذاتى يشغل في مجال التنامى موضعًا مماثلاً للانتخاب الطبيعى في التطور، وإن كان من المؤكد أنه ليس نفس العملية. وكلاهما

---

(١) هناك خطر من الخلط بين كلمة التخلق المتعاقب "epigenesis" وكلمة "epigenetics" (الوراثة بميكانزم غير D N A) وهى كلمة رطانة محدثة طنانة تتمتع الآن بالشهرة لزمن وجيز في المجتمع البيولوجى. أيا كان ما يمكن أن تعنيه كلمة"epigenetics" (ويبدو أن المتحمسين لها لا يستطيعون حتى الاتفاق مع أنفسهم، ناهيك من أن يتفقوا مع الغير)، فكل ما أنوى أن أقوله هنا عنها أنها ليست الشىء نفسه مثل كلمة epigenesist، أو التخلق المتعاقب.

(*) Epigenetics: دراسة تغيرات في المظهر أو تعبير الجين تنبع عن ميكانزمات أخرى غير التغيرات في تتابع D N A. أحسن مثل لذلك هو تمايز خلايا الجنين، وتمايز الخلايا الجذعية. المعنى الحرفى لكلمة epigenetics هو ما فوق أو ما يضاف للوراثيات. (المترجم)

ينجز النتائج بوسائل أوتوماتيكية غير متعمدة وغير مخططة، نتائج تبدو للنظرة السطحية. كأنها قد خططت بتدقيق شديد.

حين تحدث ج. ب. س هالدين إلى السائلة المتشككة ذكر في رده الحقيقة البسيطة، ولكنه ما كان لينكر أن هناك سرًا غامضًا يكاد يقرب من المعجزة (ولكنها مما لا يحدث قط أن تصل ها هنا) هو حقيقة أن خلية وحيدة ينشأ عنها جسد بشرى بكل تعقيده. وهذا السر يخفف منه بعض الشيء فحسب أن هذا العمل الفذ يتم إنجازه بمساعدة من تعليمات D N A. السبب في استمرار بقاء هذا السر هو أن من الصعب علينا أن نتخيل، ولو من حيث المبدأ، كيف يمكننا أن نأخذ في كتابة تعليمات لبناء الجسد بالطريقة التى يتم بها بناء الجسد في الحقيقة، أى بما أسميته في التو "التجميع الذاتى"، وهو أمر له علاقة بما يسميه أحيانًا مبرمجى الكمبيوتر بأنه عملية برمجة "من أسفل لأعلى"، على عكس البرمجة "من أعلى لأسفل".

يصمم مهندس معمارى كاتدرائية عظيمة. ثم يحدث من خلال سلسلة تراتبية من الأوامر أن يتم تقسيم عملية البناء إلى شعب منفصلة، وهذه الشعب تقسم ما لديها إلى شعب فرعية أصغر، وهكذا دواليك حتى يتم في النهاية تسليم التعليمات إلى الأفراد من البنائين، والنجارين، والزجاجين، وهؤلاء ينطلقون في العمل حتى يتم بناء الكاتدرائية، وهى تماثل كثيرًا الرسم الأصلى للمهندس المعمارى. هذا تصميم من أعلى لأسفل.

التصميم من أسفل لأعلى يعمل بطريقة مختلفة تمامًا. ثمة أمر لم أصدقه أبدًا، إلا أنه كانت هناك أسطورة معتادة عن أن بعضًا من أروع كاتدرائيات أوروبا ليس لها مهندس معمارى. لا أحد قد صمم الكاتدرائية. كل بناء ونجار ينشغل بالأمر نفسه، بطريقة مهاراته الخاصة به، وهو

يعمل في زاويته الصغيرة من البناء، ولا يلقى إلا أقل انتباه لما يفعله الآخرون، وليس هناك أى خطة عامة يراعيها. على نحو ما، ستنبثق كاتدرائية من هذه الفوضى. لو كان هذا قد حدث حقًا فإنه يكون معمارًا من أسفل لأعلى. على الرغم من هذه الأسطورة، إلا أن من المؤكد أن الأمر لم يكن هكذا فيما يتعلق بالكاتدرائيات[١]. ولكن هذا إلى حد كبير "هو" ما يحدث عند بناء كومة مأوى للنمل الأبيض أو عش للنمل – وما يحدث كذلك في تنامى المضغة. وهذا هو ما يجعل الإمبريولوجيا مختلفة تمامًا عن أى مما نألفه نحن البشر، من حيث طريقة البناء أو الصنع.

ينطبق المبدأ نفسه في العمل من أجل أنواع معينة من برامج الكمبيوتر، ومن أجل أنواع معينة من سلوك الحيوان – وعندما نجمع بين الاثنين معًا – أى عند عمل برامج كمبيوتر مصممة لمحاكاة سلوك الحيوان. لنفترض أننا نريد أن نفهم سلوك السرب المحلّق من طيور الزرزور. هناك بعض أفلام مذهلة متاحة على "اليوتيوب"، قد أُخذت منها اللقطات في ص١٢ الملونة. صوّر ديلان وينتر هذه التحركات الرشيقة كالباليه فوق "أوتمور" بالقرب من أوكسفورد. الأمر الملفت في سلوك طيور الزرزور، هو أنه على الرغم من كل المظاهر، إلا أنه لا يوجد مصمم رقصات، وفى حدود ما نعرفه، ليس هناك قائد. كل طير فرد يتبع لا غير قواعد موضعية.

---

(١) د. كريستوفر تيرمان أستاذ زميل لى يدرس تاريخ العصور الوسطى، وهو يؤكد أن هذه حقًا مجرد أسطورة اخترعت في العصر الفيكتورى لأسباب مثالية، ولكن ليس فيها أبدا أى ذرة من الحقيقة.

عدد أفراد الطيور في هذه الأسراب المحلقة قد يصل إلى الآلاف، إلا أنها حرفيا لا تتصادم قط. هذا أمر طيب تمامًا؛ لأنه باعتبار السرعة التى تطير بها هذه الطيور فإن أى اصطدام كهذا سيصيبها بأذى شديد. كثيرًا ما يبدو السرب المحلق كله وكأنه يسلك كفرد واحد، وينطلق ويلتف كفرد واحد. من الممكن أن يبدو الأمر وكأن الأسراب المنفصلة يتحرك أحدها من خلال الآخر في اتجاهين مضادين، وكل منها يحافظ على تماسكه كسرب منفصل. الأمر هكذا يبدو تقريبًا كمعجزة، ولكن الأسراب في الواقع تكون على مسافات مختلفة من الكاميرا ولا يحدث بالمعنى الحرفى أن يتحرك أحدها من خلال الآخر. مما يضيف إلى المتعة الجمالية أن أطراف الأسراب تكون محددة تحديدًا دقيقًا. الأطراف لا تتلاشى تدريجيا، وإنما تصل إلى حد فاصل حاد. كثافة عدد الطيور داخل الحد مباشرة لا تقل عنها في وسط السرب، ويكون العدد صفرًا خارج الحد. ألا ترى عندما تفكر في الأمر بهذه الطريقة، أنه أمر رائع بما يذهل ؟

هذا الأداء كله يصنع ما هو أكثر من المعتاد من الصور الرائعة التى تُدخر على شاشة الكمبيوتر. لن تحتاج لأن يكون هناك فيلمًا حقيقيًا لطيور الزرزور؛ لأن مدخر صورك على الشاشة سيكرر نفس حركات الباليه المطابقة لذلك المرة بعد الأخرى، وبالتالى لن تستخدم لهذا كل البكسلات. كل ما تحتاجه هو "محاكاة" كمبيوتر لأسراب الزرزور المحلقة؛ وسيخبرك أى مبرمج أن هناك طريقة صحيحة لفعل ذلك وأخرى خطأ. عليك ألا تحاول تصميم رقصات الباليه كله – سيكون هذا أسلوب برمجة سيئًا إلى حد رهيب بالنسبة لمهمة من هذا النوع. أجد أنى في حاجة لأن أتحدث عن الطريقة الأفضل لفعل ذلك؛ لأن هناك ما يشبه هذا ويشكل على

نحو مؤكد تقريبًا الطريقة التى برمجت بها الطيور نفسها في مخها، والأهم في هذه النقطة أن فيها تماثل كبير لطريقة عمل الإمبريولوجيا.

هاكم طريقة برمجة سلوك الأسراب المحلقة من طائر الزرزور. عليك أن تكرس كل جهدك تقريبًا لتبرمج سلوك طائر فرد واحد. ستبنى في روبوت طائر الزرزور قواعد تفصيلية للطريقة التى يطير بها، والطريقة التى يتفاعل بها مع وجود طيور الزرزور المجاورة، بما يعتمد على مسافة بعدها وموضعها النسبى. ستبنى فيه أيضًا قواعد لمدى ما يعطيه من أهمية لسلوك جيرانه، وما يعطيه من أهمية للحافز الفردى لتغيير الاتجاه. تتوفر المعلومات عن هذه القواعد النموذجية من القياسات الدقيقة لطيور حقيقية أثناء الفعل. ستضفى على طائر فضائك المعلوماتى بعض نزعة معينة لإحداث تغير عشوائى في قواعده. الآن وقد كتبت برنامجًا معقدًا لتحديد القواعد السلوكية لطائر زرزور واحد، ستصل إلى الخطوة الحاسمة التى أعمل على تأكيدها في هذا الفصل، عليك "ألا تحاول" برمجة سلوك السرب بأكمله، الأمر الذى ربما كان سيفعله الجيل الأسبق من مبرمجى الكمبيوتر. عليك بدلاً من ذلك أن تستنسخ طائر زرزور الكمبيوتر الذى برمجته. فلتصنع ألف نسخة من الطائر الروبوت، وربما تجعلها كلها تتماثل إحداها مع الآخرى، أو ربما يكون فيها بعض تغاير عشوائى طفيف في قواعدها. والآن هيا "أطلق الآلاف من نموذج طائر الزرزور في كمبيوترك، وهكذا تكون حرة في أن تتفاعل إحداها مع الآخرى، وكلها تذعن للقواعد نفسها.

إذا كنت قد حصلت على قواعد السلوك الصحيحة لطائر زرزور واحد، فإن آلاف من طيور زرزور الكمبيوتر، التى يبدو كل منها كنقطة على الشاشة، سوف تسلك مثل سرب طيور زرزور حقيقية تحلق شتاء. إذا كان سلوك تحليق الطير

ليس صحيحًا تمامًا، يمكنك أن تعود وراء ثانية وأن تعدل سلوك طير الزرزور المفرد، ربما في ضوء المزيد من القياسات لسلوك طيور الزرزور الحقيقية. والآن عليك أن تستنسخ النسخة الجديدة لألف مرة، وتضعها مكان الألف التى لم تعمل تمامًا بنجاح. عليك أن تواصل تكرار إعادة برمجة طائر الزرزور الواحد المستنسخ، حتى يصبح سلوك تحليق الآلاف منه على الشاشة فيه صورة واقعية مُرضية تُدخر على الشاشة. كتب كريج رينولدز في ١٩٨٦ برنامجًا حسب هذه الخطوط اسماه "بويد، Boids" (وهو ليس بوجه خاص عن طيور الزرزور).

النقطة المفتاح هنا هي أنه لا يوجد مصمم للرقصات ولا يوجد قائد. النظام والترتيب والبنية – كلها "تنبثق" كمنتجات جانبية لقواعد يتم الإذعان لها "موضعيًّا" ولمرات كثيرة متكررة، وليس على نحو شامل. وهذه هي الطريقة التى تعمل بها الإمبريولوجيا. فهى تتم كلها حسب قواعد موضعية، على مستويات مختلفة ولكن ذلك يكون على وجه الخصوص على مستوى الخلية الواحدة. لا يوجد مصمم رقصات. لا يوجد قائد للأوركسترا. لا يوجد تخطيط مركزى. لا يوجد مهندس معمارى. في مجال التنامى، أو التصنيع يكون المرادف لهذا النوع من البرمجة هو "التجميع الذاتى".

هيا ننظر إلى جسد الإنسان أو النسر، أو الخلد، أو الدرفيل، أو فهد الشيتا، أو الضفدعة النمر، أو طائر السنونو: هذه كلها أجساد قد ركبت معا على نحو غاية في الجمال، حتى ليبدو من المستحيل أن نصدق أن الجينات التى تبرمج تناميها لا تعمل كطبعة تصميم زرقاء، كتصميم، كخطة أساسية. ولكن لا: الأمر هنا مماثل لطيور زرزور الكمبيوتر، فكله يتم بواسطة خلايا فردية تذعن لقواعد موضعية. هذا الجسد الذى "صمم" على نحو جميل "ينبثق" كنتيجة تترتب على قواعد يتم الإذعان لها "موضعيًّا"

بواسطة الخلايا المفردة، بدون الرجوع إلى أى شىء يمكن أن يسمى بأنه خطة عامة شاملة. خلايا المضغة المتنامية تنطلق لتدور وترقص إحداها حول الأخرى مثلما تفعل طيور الزرزور في الأسراب الضخمة المحلقة. على أن هناك أوجه اختلاف مهمة. الخلايا، بخلاف طيور الزرزور، مربوطة فيزيقيا إحداها بالأخرى في صفحات وكتل: "أسراب" الخلايا تسمى "أنسجة". عندما تدور الخلايا وترقص مثل نمنمات لطيور الزرزور، تكون النتيجة التى تترتب على ذلك هي تشكيل أشكال بثلاثة أبعاد، بينما الأنسجة تنغمد في استجابة لحركات الخلايا(١)؛ أو أنها تنتفخ أو تنكمش بسبب الأنماط الموضعية لنمو الخلايا وموتها. التمثيل بالقياس الذى أفضله هنا هو الفن اليابانى لطى الورق في أشكال (الأوريجامى، origami)، كما يطرح لويس ولبرت عالم الإمبريولوجيا المتميز في كتابه "انتصار المضغة"؛ ولكننى قبل الوصول إلى ذلك أحتاج لأن أزيح من الطريق بعض أمثلة القياس البديلة التى قد تطرأ على الذهن – أمثلة قياس مستقاه من الحرف البشرية وعمليات التصنيع.

أمثلة قياس للتنامى

من الصعب إلى درجة مدهشة أن نعثر على مثل قياس جيد لتنامى النسيج الحى، إلا أننا يمكننا أن نجد مشابهات جزئية لجوانب معينة من العملية. تعبير الوصفة يستوعب بعضًا من الحقيقة، وهو مثل قياس أستخدمه أحيانًا ليفسر السبب في أن تعبير "طبعة التصميم الزرقاء " غير مناسب. الوصفة لا تقبل الانعكاس،

---

(١) تنغمد: أى "تنطوى للداخل لتشكل تجويفا، " تلتف أو تنطوى على نفسها ظهرا لبطن". (قاموس أوكسفورد المختصر للإنجليزية).

وذلك بخلاف طبعة التصميم الزرقاء. عندما نتبع وصفة لـصنع الكعـك خطـوة فخطوة، سننتهى إلى صنع كعكة. ولكننا لا نستطيع أن نأخذ كعكة ونعيد منها إنشاء الوصفة – لن نصل بكل تأكيد للكلمات المضبوطة للوصفة – في حين أننا كما سبق أن رأينا نستطيع أن نأخذ بيتًا ثم نعيد منه إنشاء شيء قريب الشبه بطبعة التـصميم الزرقاء الأصلية. سبب ذلك أن هناك رسم خريطة للأجزاء بحيث أن كل جزء من أجزاء البيت يماثل جزءًا من طبعة التصميم الزرقاء. أما في حالة الكعكة فلا يوجد رسم خريطة للأجزاء يماثل فيها كل جزء من أجزاء الكعكة جـزءًا مـن كلمـات الوصفة مثلاً أو عباراتها، وذلك فيما عدا بعض استثناءات ظاهرة مثل أن توضـع ثمرة كرز فوق قمة الكعكة.

تُرى أى أوجه أخرى قد توجد مـن التماثـل بالقيـاس مـع مـا يـصنعه الإنسان ؟ النحت يكون في غالبه بعيدًا تمامًـا عـن ذلـك. النحـات يبـدأ بكتلـة من حجر أو خشب ويشكلها بعملية طـرح منهـا، فيأخـذ فـي تكـسير شـظايا رقيقة بعيدًا عن الكتلة بحيث أن كل ما سـيتبقى هـو الـشكل المطلـوب. علـى أن هناك فيما يقر به الجميع بعض مشابهة قوية فـي ذلـك لعمليـة معينـة فـي الإمبريولوجيا تسمى الموت المبرمج للخلية. المـوت المبـرمج للخلايـا يـشارك مثلاً في تنامى أصابع اليد والقدم. نجد فـي الجنـين البـشرى أن أصـابع اليـد تكون كلها متصلة معًا وكذلك أصابع القدم. كلنا في الـرحم يكـون لـدينا أقـدام وأيدى بجليدة أو وترة بين الأصابع. يختفى هـذا الـربط بالجليـدة (فـي معظـم الناس: وان كان هناك أحيانًا استثناءات لذلك) ويـتم ذلـك عـن طريـق المـوت المبرمج للخلايا. يذكرنا هذا إلى حد مـا بالطريقـة التـى ينحـت بهـا النحـات الأشكال، على أن هذا الأسلوب ليس شائعًا بمـا يكفـى، ولا مهمـا بمـا يكفـى، لأن يستوعب الطريقة الطبيعيـة لعمـل الإمبريولوجيـا. علمـاء الإمبريولوجيـا

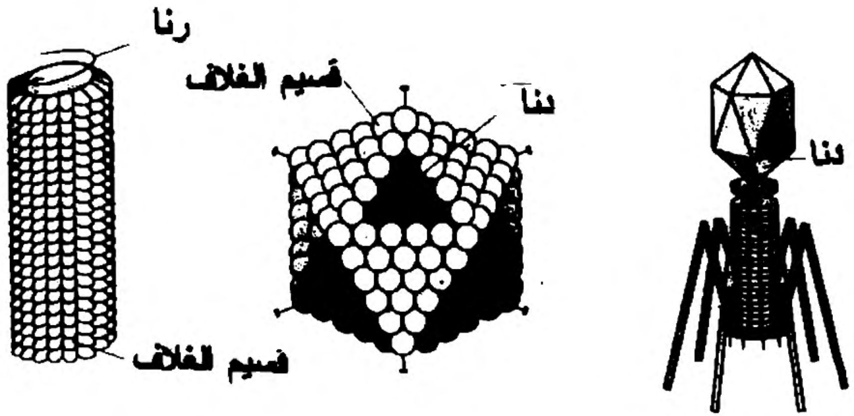
ربما يفكرون لزمن وجيز في "أزميل النحات"، ولكنهم لا يسمحون لهذه الفكرة بأن تتلبث طويلاً.

بعض النحاتين لا يعملون بالطرح بالحفر وإنما يعملون بأن يأخذوا كتلة من الصلصال، أو الشمع اللين، ويعجنونها في الشكل المطلوب (وربما يلي ذلك أن يصب الشكل في البرونز مثلا). هذا بدوره ليس بمثل جيد للقياس مع الإمبريولوجيا. ليس هناك مثل جيد أيضًا في حرفة الخياطة أو صنع الملابس. فهنا تؤخذ قطعة قماش موجودة مسبقًا. وتُقص لأشكال صممت في نموذج (باترون) سبق تخطيطه، ثم تحاك معًا مع الأشكال الأخرى التى قصت. وكثيرًا ما يحدث بعدها أن تقلب ظهرًا لبطن لتخفى غرز الخياطة – هذا الجزء هو على الأقل ما يوجد فيه مثل قياس جيد لأجزاء معينة من الإمبريولوجيا. على أن الإمبريولوجيا عموما لا تشبه الخياطة أكثر مما تشبه النحت. ربما تكون خياطة الحبك بالعقد (التريكو) فيها مثل أحسن في أن الشكل الكلى لسترة (السويتر) مثلاً ينبنى تدريجيًا من غرز فردية، مثل الخلايا الفردية. على أن هناك أمثلة قياس أخرى أفضل، كما سوف نرى.

ماذا عن تجميع سيارة، أو أى ماكينة معقدة، على خط تجميع بأحد المصانع: هل في هذا قياس بتمثيل جيد ؟ تجميع أجزاء مصنوعة مسبقًا هو مثل النحت والخياطة طريقة تصنع الأشياء بكفاءة . في مصنع السيارات تكون الأجزاء مصنعة مسبقًا، غالبًا بالصب في قوالب في مسبك (وفيما أعتقد لا يوجد أى شيء في الإمبريولوجيا يشبه ولو من بعيد الصب في قوالب). تجمع معًا الأجزاء المصنوعة مسبقًا فوق خط تجميع فيتم تثبيتها بمسامير لولبية، وتُبرشم، وتُلحم أو تلصق معًا بغراء، ويتم ذلك خطوة بعد

خطوة حسب خطة رسمت بدقــة. مــرة أخــرى لــيس فــي الإمبريولوجيــا أى شيء يشبه خطة مرسومة مسبقًا. ولكــن هنــاك أوجــه شــبه مــن حيــث أنــه تلصق معًا بنظام أجزاء تم تجميعها مسبقًا، بما يــشبه مــا يحــدث فــي مــصنع لتجميع السيارات حيث يُــضم معــا أجــزاء مــصنعة مــسبقًا مثــل المكربنــات (الكربيوريتــور)، ورؤوس المــوزع الكهربــائى، وســيور المروحــة، ورؤوس الأسطوانات، كلها تُضم وتربط معًا في الموضع الصحيح.

فيما يلى أشكال لثلاثة أنواع مــن الفيروســات. إلــى اليــسار الفيــروس الفسيفسائى للطباق، الذى يتطفل على نبــات الطبــاق والأعــضاء الأخــرى فــي فــصيلة "سولاناســى، Solanaceae"، مثــل الطمــاطم. يوجــد فــي الوســط فيروس غددى يصيب بالعدوى الجهــاز التنفــسى فــي حيوانــات كثيــرة، بمــا فيها إيانــا. إلــى اليمــين فيــروس "بكتريوفــاج تــى٤، T4 bacteriophage" الذى يتطفل على البكتريا. يبدو هذا البكتريوفــاج وكأنــه مَركــب فــضاء تحــط على القمر، وهو يسلك إلى حد ما مثــل هــذه المركــب، فهــو "يحــط" هابطــا على سطح خلية البكتريا، وهى أكبر كثيرًا جدًا منــه، ثــم ينــزل خافــضًا نفــسه فوق "سيقانه" العنكبوتية، ثم يدفع بمجــس لأســفل فــي الوســط، خــلال جــدار خلية البكتريــا، ويحقــن دنــاه داخلهــا. يختطــف D N A الفيروســى بعــدها ماكينة صنع البروتين في خلية البكتريا فيتلفها لتتحــول إلــى صــنع فيروســات جديدة. نوعا الفيروسين الآخرين في الصورة يفعــلان شــيئا يماثــل ذلــك، وإن كانا لا يشبهان ولا يسلكان مثل فيروس مركب النزول علــى القمــر، فــي كــل هذه الحالات نجد أن المادة الوراثية للفيروس تختطــف جهــاز صــنع البــروتين في خلية العائــل وتحــول خــط إنتاجــه الجزيئــى إلــى آلــة تــضج بإنتــاج الفيروسات بدلاً من منتجات الجهاز الطبيعية.



ثلاثة أنواع من الفيروسات

معظم ما نراه في هذه الصور للفيروسات هو وعاء بروتيني للمادة الوراثية، وفى حالة "مركبة النزول على القمر" أو بكتريوفاج تى٤ تظهر الصورة ماكينة إحداث العدوى في العائل. المهم هنا هو الطريقة التى يُضم بها معا جهاز البروتين هذا. إنه حقا يُجمع ذاتيا. يتم تجميع كل فيروس من جزيئات بروتين مصنوعة مسبقًا. كل جزىء بروتين قد سبق تجميعه ذاتيًا، بطريقة سوف نراها لاحقًا، ويكون ذلك " ببنية ثلاثية" تُعد خاصية متميزة، وتتم هذه البنية حسب قوانين للكيمياء تعطيها تتالى الأحماض الأمينية الخاص بها. وبعدها يحدث في الفيروس أن تضم جزيئات البروتين معًا أحدها مع الآخر لتشكل ما يسمى "بالبنية الرباعية "، ويتم هذا مرة أخرى باتباع قواعد موضعية. لا توجد أى خطة شاملة، ولا يوجد أى طبعة تصميم زرقاء.

وحدات البروتين الفرعية التى تنضم معًا مثل قطع لعبة الليجو، لتشكيل البنية الرباعية، تسمى قسيم الغلاف (capsomere). لاحظ مدى الكمال الهندسى في هذه البنيات المشيدة الصغيرة. الفيروس الغددى في وسط الصورة لديه بالضبط ٢٥٢ من قسيمات الغلاف، المرسومة هنا في شكل كرات صغيرة تنتظم في شكل مجسم له عشرون وجه. هذا المجسم ذى العشرين وجه هو المادة الجامدة المثالية الأفلاطونية التى لها ٢٠ وجه مثلث. تنتظم قسيمات الغلاف في هذا المجسم العشرينى بدون أى نوع من خطة أساسية أو طبعة تصميم زرقاء، وإنما تنتظم ببساطة بأن يذعن كل واحد منها لقوانين الجذب الكيميائى الموضعى عندما تصطدم مع قسيمات أخرى مماثلة. هذه هي الطريقة التى تتكون بها البلورات، والحقيقة أن الفيروس الغددى يمكن أن يوصف بأنه بلورة جوفاء صغيرة جدًا. عملية "تبلور" الفيروسات فيها مثل رائع بوجه خاص "للتجميع الذاتى" الذى أطرح أنه مبدأ رئيسى يتم بواسطته ضم أجزاء الكائنات الحية معًا. بكتريوفاج تى٤ "الهابط على القمر" له أيضا شكل مجسم بعشرين وجه هو الوعاء الرئيسى لدناه، ولكن بنيته الرباعية المجمعة ذاتيًا أكثر تعقيدًا، فهى تتضمن وحدات بروتين إضافية، يتم تجميعها حسب قواعد موضعية مختلفة، وذلك في جهاز الحقن وفى "السيقان" المتصلة بمجسم الوجوه العشرين.

إذا عدنا من الفيروسات إلى إمبريولوجيا الكائنات الأكبر، فإن هذا يصل بى إلى التمثيل المفضل لدى بالنسبة لتكنيكات البناء البشرى، وهو فن الأوريجامى. الأوريجامى فن البناء بطى الورق، وقد تطور لأكثر مستوياته تقدمًا في اليابان. التكوين الأوريجامى الوحيد الذى أعرف طريقة صنعه هو ما يسمى "السفينة الصينية". وقد تعلمته من أبى، الذى تعلمه أثناء نوبة جنون اجتاحت مدرسته الداخلية أثناء عشرينيات القرن العشرين[١]. أحد الملامح الواقعية بيولوجيًا هو أن

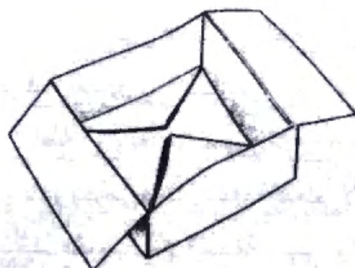
---

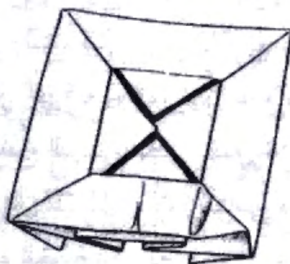
(١) انقرضت هذه النوبة الجنونية، ولكنى أعدت إدخالها في المدرسة نفسها في خمسينيات القرن العشرين، وما لبثت أن انتشرت وكأنها تماما وباء ثان من المرض نفسه.

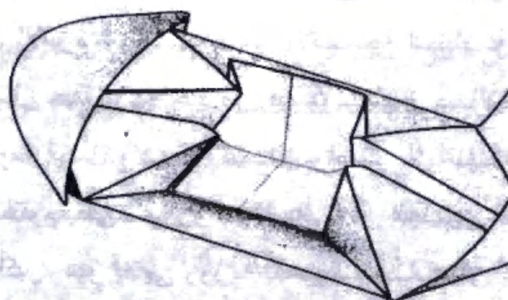
"إمبريولوجيا" السفينة الصينية تمر من خلال أطوار عديدة من توسطات "يرقيـــة"، تعد هي نفسها تكوينات ممتعة، بما يشبه تمامًا كيف تكون إحـــدى اليرقـــات كائنـــا توسطيًا جميلاً يعمل في طريقه لأن يصير فراشة لا تكاد تشبهه مطلقًا. يبدأ صـــنع السفينة بقطعة ورق في شكل مربع بسيط، ثم نأخذ في طيها ببـــساطة – بـــدون أن نقصها قط، ولا نلصقها قط، ولا ندخل عليها أى قطع ورق أخرى – تمـضى بنـــا العملية في ثلاثة "أطوار يرقية" متميزة: أولها طور "الطوف"، ثم طور من "صندوق بغطائين"، ثم "صورة داخل إطار"، وبعدها ننتهى إلى الطور "البالغ" للسفينة الصينية نفسها. من مزايا التمثيل بالأوريجامى، أننا عندما نتعلم لأول مرة صـــنع الـــسفينة الصينية، فإن المفاجأة لا تأتينا فحسب من السفينة نفسها وإنما تأتى مـــع كـــل مـــن الأطوار "اليرقية الثلاثة – الطوف، والصندوق، وإطار الصورة. ربما تكون أيـــدينا هي التى تقوم بطى الورق، ولكننا بكل تأكيد لا نتبع طبعة تصميم زرقاء للـــسفينة الصينية، أو لأى من الأطوار اليرقية. وإنما نحن نتبع مجموعة من قواعـــد الطـــى تبدو وكأنها لا صلة لها بالمنتج النهائى، حتى ينبثق هذا المنتج في النهاية كما تنبثق الفراشة من شرنقتها. هكذا فإن التمثيل بالأوريجامى يستوعب بعض شـــىء مـــن أهمية "القواعد المحلية " إزاء الخطة الشاملة.

من مزايا التمثيل بالأوريجامى أيضًا، عمليتـــى الانغمـــاد والقلـــب بطانـــا لظهر وهما من الحيل الأثيرة التى تـــستخدمها الأنـــسجة الجنينيـــة عنـــد صـــنع الجسد. يكون هذا التمثيل جيدًا بوجه خـــاص فيمـــا يتعلـــق بـــالأطوار الجنينيـــة المبكرة. إلا أن له عيوبه أيضًا، وهـــاكم عيبـــان واضـــحان منهـــا. الأول: أننـــا نحتاج للأيدى البشرية لتقوم بطى الـــورق. والثـــانى، أن الجنـــين الـــورقى وهـــو يتطور،لا ينمو لحجم أكبر. فهو ينتهى ووزنه بالضبط كمـــا كـــان عنـــد البدايـــة. حتى نقر بهذا الفارق سوف أشير أحيانًا إلـــى الإمبريولوجيـــا البيولوجيـــة علـــى أنها أوريجامى متضخم "بدلا من أن أقول أوريجامى" فحسب.









صنع السفينة الصينية بالأوريجامى، وفيه "الأطوار البرقية" الثلاثة: "الطوف"، و"الصندوق ذو الغطائين"، و"الصورة داخل الإطار".

الواقع أن هذين العيبين يحدث على نحو ما أن أحدهما يلغى الآخر. صفحات الأنسجة التى تنطوى، وتتغمد وتنقلب بطنًا لظهر في الجنين المتنامى، هذه الصفحات من الأنسجة تنمو بالفعل، وهذا النمو نفسه هو الذى يوفر جزءًا من القوة الدافعة، وهى القوة التى توفرها الأيدى البشرية في الأوريجامى. إذا أردنا أن نصنع أحد نماذج الأوريجامى بصفحة من نسيج حى بدلاً من الورق الميت، ستكون لدينا على الأقل بعض فرصة فى أنه لو تنامت صفحة النسيج بالطريقة المناسبة تمامًا، ليس في اتساق، وإنما تتنامى بسرعة في بعض أجزاء الصفحة أكبر مما في الأجزاء الأخرى، فإن هذا قد ينتج عنه أتوماتيكيا أن تتخذ الصفحة شكلاً معينًا – أو أنها حتى سوف تنطوى أو تتغمد، أو تنقلب بطنًا لظهر بطريقة معينة – بدون حاجة لأيدى تقوم بالمط والطى، وبدون حاجة لأى خطة شاملة، وإنما يحتاج الأمر فقط لقواعد موضعية. والواقع أن الفرصة هنا أكثر من أن تكون مجرد فرصة صغيرة؛ وذلك لأنها تحدث في الواقع. هيا نسميها بأنها "أوريجامى ذاتية، auto-origami". كيف يعمل الأوريجامى الذاتى عند التطبيق في الأمبريولوجيا ؟ إنه يعمل بنجاح لأن ما يحدث في الجنين الحقيقى عندما تنمو صفحة من النسيج هو أن خلاياها تنقسم. يتم إنجاز النمو المتمايز للأجزاء المختلفة من صفحة الأنسجة بواسطة الخلايا التى تنقسم في كل جزء من الصفحة بمعدل سرعة يتقرر حسب القواعد الموضعية. وهكذا فإننا بطريق غير مباشر نعود إلى الأهمية الأساسية للقواعد الموضعية للعمل بمبدأ الاتجاه من أسفل لأعلى عندما توضع إزاء القواعد الشاملة للاتجاه من أعلى لأسفل. ما يحدث بالفعل متواصلاً في المراحل المبكرة من تنامى الجنين هو سلسلة بأكملها من نسخ من هذا المبدأ البسيط (وإن كانت هذه النسخ أكثر تعقيدًا على حد بعيد).

إليكم كيف يجرى الأوريجامى في المراحل المبكرة من تنامى الفقاريات. تنقسم خلية البويضة المخصبة الواحدة لتصنعَ خليتين. ثم تنقسم الخليتان لتصنعا أربع خلايا. وهكذا دواليك، مع تضاعف وتكرار تضاعف الخلايا بمعدل سريع. لا يوجد في هذه المرحلة نمو، ولا تضخم. ما يحدث هو أن الحجم الأصلى للبويضة المخصبة ينقسم بالمعنى الحرفى للكلمة، بمثل قطع الكعكة في شرائح، ونصل في النهاية إلى كرة مكورة من الخلايا حجمها هو نفس الحجم الأصلى للبويضة. والكرة ليست مصمتة وإنما هي كرة مجوفة تسمى البلاستولا (الأريمة). الطور التالى هو تكوين حوصلة مفتوحة أو التحوصل الفوهى، وهذا موضع ملاحظة بارعة مشهورة قالها لويس ولبرت. "ليس المهم هو الميلاد، أو الزواج، أو الموت، وإنما هو التحوصل الفوهى الذى يُعد حقا أهم وقت في حياتنا.

التحوصل الفوهى نوع من زلزال في كون مصغر، يمر مكتسحًا عبر سطح البلاستولا ويُحدث تغييرًا ثوريا في شكلها كله. تجرى عملية إعادة تنظيم ضخمة في أنسجة الجنين. يؤدى التحوصل الفوهى نمطيًّا إلى إحداث انبعاج في كرة البلاستولا الجوفاء، بحيث تصبح من طبقتين مع وجود فتحة على العالم الخارجى (انظر محاكاة الكمبيوتر في ص ٣٤). الطبقة الخارجية لهذه "الحوصلة الفوهية" تسمى الأديم الخارجى، والطبقة الداخلية تسمى الأديم الداخلى، وهناك أيضًا بعض الخلايا التى يقذف بها في الفراغ بين الأديم الخارجى والداخلى، وتسمى الأديم الأوسط. مصير كل من هذه الطبقات الأولية هو أنها ستصنع أجزاء رئيسية من الجسم. مثال ذلك أن الجلد الخارجى والجهاز العصبى يأتيان من الأديم الخارجى؛ والأحشاء وغيرها من الأعضاء الداخلية تأتى من الأديم الداخلى؛ ويزودنا الأديم الأوسط بالعضلات والعظام.

الطور التالى في أوريجامى الجنين يسمى تكوين أنبوبة الأعصاب. الشكل التوضيحى التالى يبين قطاع عرضى خلال منتصف ظهر جنين برمائى في مرحلة تكوين أنبوبة الأعصاب (يمكن أن يكون هذا جنين ضفدعة أو سلمندر). الدائرة السوداء هي الحبل الظهرى" وهو قضيب متصلب يشكل العنصر التمهيدى للعمود الفقرى.



تكوين أنبوبة الأعصاب

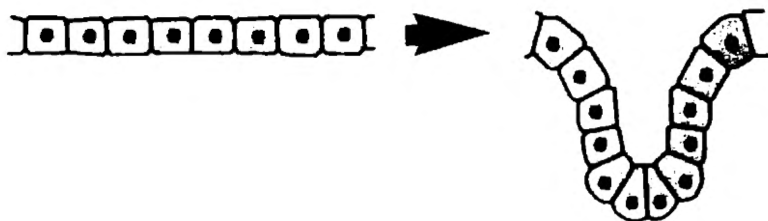
الحبل الظهرى ملمح تشخيصى لشعبة الحبليات التى ننتمى إليها نحن وكل الفقاريات (وإن كنا مثل كل الفقاريات الحديثة لا نحوزه إلا ونحن أجنة). في تكوين أنبوبة الأعصاب نجد مثلما يحدث في التحوصل

الفوهى، أن هناك أدلة كثيرة على الانغماد. لعل القارئ يتذكر أنى قلت أن الجهاز العصبى يأتى من الأديم الخارجى. حسن، إليكم الآن كيف يكون ذلك. ينغمد جزء من الأديم الخارجى (يحدث ذلك مع تقدم تدريجى إلى الوراء بطول الجسم مثلما يحدث مع زمام غلق "سوستة" الملابس)، ويلف الانغماد نفسه في أنبوبة، ويلتم منفصلاً حيث تنضم جوانب الأنبوبة حتى ينتهى بها الأمر إلى أن تجرى بطول الجسم بين الطبقة الخارجية والحبل الظهرى. مصير هذه الأنبوبة هو أن تغدو الحبل الشوكى، الجذع العصبى الرئيسى للجسم. يتضخم الطرف الأمامى للأنبوبة ليصبح المخ، تُستقى باقى الأعصاب من هذه الأنبوبة الأولية بالانقسامات اللاحقة للخلايا(١).

لست أريد أن أدخل في تفاصيل التحوصل الفوهى أو تكوين أنبوبة الأعصاب، فيما عدا أن أقول أنهما رائعان، وأن الاستعارة المجازية بمقارنتهما بفن الأوريجامى تستمر كاستعارة جيدة إلى حد كبير بالنسبة لهما معًا. ما يهمنى هو المبادئ العامة التى تغدو الأجنة بواسطتها أكثر تعقدًا من خلال الأوريجامى المتضخم. الشكل التالى يوضح الأشياء التى نلاحظ أن صفحات الخلايا تفعلها أثناء سياق تنامى الجنين، كما مثلا أثناء التحوصل الفوهى. يمكننا أن نرى بسهولة كيف أن هذا الانغماد يمكن أن

(١) يؤسفنى أنى عاجز عن أن أفسر لماذا يوجد حرف " h في الكلمة الانجليزية " notoc<u>h</u>ord، الحبل الظهرى" في حين أن كلمة "spinal cord، الحبل الشوكى " ليس فيها "h". ظل هذا دائمًا غامضا لى، بل إننى حتى تساءلت عن الاحتمال بأن ذلك يمثل بعض خطأ نُسى طويلا ولكنه بقى متحجرا. لا يمكن إنكار أن "قاموس أوكسفورد للإنجليزية " يعتبر أن كلمة chord تهجئة بديلة لنوع cord الأشبه بالوتر الموسيقى، إلا أن هذا الاختلاف يبدو بالفعل غريبا باعتبار أن الحبل cord الشوكى، والحبل chord الظيرى يجريان بطول جسد الجنين، وأحدهما فوق الآخر.

يكون حركة مفيدة في الأوريجامى المتضخم، وأنه فـي الحقيقـة يلعـب بالفعـل دورًا رئيسيًا في كل من التحوصل الفوهى وتكوين أنبوبة الأعصاب.



انغماد في صفحة من الخلايا

التحوصل الفوهى وتكـوين أنبوبـة الأعـصاب يـتم إنجازهمـا مبكـرًا أثناء التنامى وهما يؤثران في كل شكل الجنـين. يـصل الانغمـاد وغيـره مـن حيل "الأوريجامى المتضخم" إلـى إنجـاز هـذه الأطـوار مـن الإمبريولوجيـا مبكرا، وهما والحيل الأخرى المشابهة تشارك كلهـا لاحقًـا فـي التنـامى، عنـد صنع الأعضاء المتخصصة مثل الأعين والقلب. ولكـن باعتبـار أنـه لا توجـد هنا أيدى لتقوم بعملية الطى، ما هي إذن العمليـة الميكانيكيـة التـى تنجـز هـذه الحركات الدينامية؟ يتم هذا جزئيًا، حـسب مـا قلتـه مـن قبـل، عـن طريـق مجرد التمدد نفـسه. تتكـاثر الخلايـا خـلال صـفحة مـن النـسيج بأسـرها. وبالتالى، فإن مساحتها تتزايد، وليس لديها أى حيـز آخـر تـذهب إليـه، وبهـذا فإنه ليس لديها من خيـار إلا أن تتـبعج أو أن تنغمـد. علـى أن العمليـة فيهـا عوامل تحكم أكثر من ذلـك وقـد قـام بفـك شـفرتها مجموعـة مـن العلمـاء المصاحبين للعالم المبرز فـي الرياضـة والبيولوجيـا جـورج أوسـتر بجامعـة كاليفورنيا في بيركلى.

نمذجة الخلايا مثل طيور الزرزور

اتبع أوستر وزملاؤه الإستراتيجية نفسها التى نظرنا في أمرها فيما سبق في هذا الفصل من أجل محاكاة الكمبيوتر لأسراب الزرزور المحلقة. بدلاً من برمجة سلوك البلاستولا كلها، برمج هؤلاء العلماء خلية واحدة. ثم "استنسخوا" بعدها خلايا كثيرة، كلها متماثلة، وترقبوا ليروا ماذا سيحدث عندما تنضم هذه الخلايا معًا في الكمبيوتر. عندما أقول أنهم برمجوا سلوك خلية واحدة، فقد يكون من الأفضل أن أقول أنهم برمجوا نموذجًا رياضيًّا لخلية واحدة، وبنوا في النموذج بعض حقائق معروفة عن الخلية الواحدة، ولكن ذلك تم في شكل مبسط. من المعروف على وجه التحديد أنه توجد في داخل الخلية تقاطعات من خيوط بالغة الصغر: نوع من أربطة مطاطة مصغرة، ولكنها فيها خاصية إضافية في أنها لها القدرة على الانقباض بنشاط، مثل ألياف العضلات المتقلصة. والحقيقة أن هذه الخيوط الدقيقة تستخدم في انقباضها المبدأ نفسه مثل ألياف العضلات(١). نموذج أوستر يبسّط الخلية في بعدين لرسمها على شاشة الكمبيوتر، ويضع في الخلية ستة خيوط دقيقة لا غير في أماكن إستراتيجية من الخلية، كما نرى في الرسم التوضيحى التالى. ونجد في نموذج الكمبيوتر أن كل الخيوط الدقيقة قد أعطيت خصائص كَمية معينة بأسماء لها

---

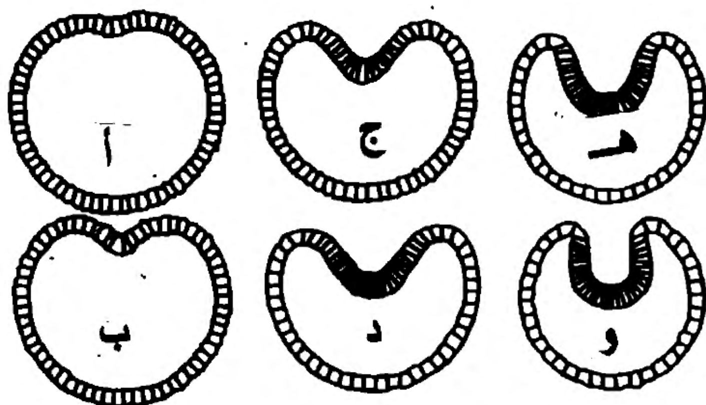
(١) فيما يعرض، فإن هذا في حد ذاته يُعد قصة رائعة، وقد استحوذت على خيالى دائمًا منذ أتى إلى مدرستى جوزيف نيدام عالم الفيزيولوجيا العظيم في كمبردج (وهو عالم ذو ثقافة موسوعية وأصبح حتى مشهورًا بصفة أكبر كخبير مبرز في تاريخ العلوم الصينية) وقد أتى لمدرستى ليثبت هذه القصة عمليًّا، بناء على دعوة من إبن أخيه الذى تصادف أن كان مدرسنا في ذلك الوقت: وهذه هبة من محاباة الأقرباء أحدهم للآخر، لا زلت ممتنًا لها. بإشراف من د. نيدام، أخذنا ننعم النظر إلى ألياف عضلية تحت ميكروسكوباتنا وراقبناها وهى تصبح أقصر طولا، وكأنما بفعل السحر، وذلك عندما وضعنا عليها قطرة من أدينوزين الفوسفات الثلاثى، وهو العملة العامة للطاقة في الجسم.

معنـــاها عند الفيزيائيين، مثل: "معامل اللزوجة المثبط" و"ثـــابت الزنبرك المرن". لا يهم ما يعنيه هذا بالضبط: هذه أنواع من الأمور التى يحب الفيزيائيون قياسها في الزنبركات. على الرغم من أن من الممكن في الخلية الحقيقية أن يكون للكثير من الخيوط الدقيقة القدرة على الانقباض، إلا أن أوستر وزملاءه قد بسطوا الأمر بأن أضفوا هذه القدرة على خيط واحد فقط من خيوطهم الستة الدقيقة. إذا أمكنهم الحصول على نتائج واقعيـــة حتى بعد استبعاد بعض الخواص المعروفة للخلية، فسيكون من الممكن فيما يفترض أن يحصلوا على الأقل على نتائـــج جيدة بمثل ذلك عند استخدام نموذج أكثر تعقيدًا يُبقى داخله هذه الخواص. بدلاً من أن يسمحوا للخيط الدقيق الوحيد في نموذجهم القادر على الانقباض بأن ينقبض حسب الرغبة، فإنهم بنوا فيه خاصة تشيع في أنواع معينة من الألياف العضلية، وهذه الخاصة هي أنه عند مط الليفة بعد طول معين حرج، فإنها تستجيب بأن تنقبض لطول أقصر كثيرًا من الطول عند توازنها الطبيعي.



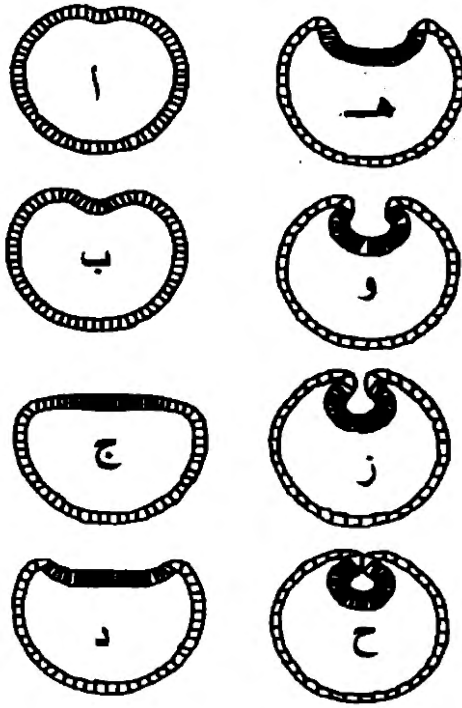
الخيوط الدقيقة داخل نموذج خلية أوستر

هكذا أصــبح لــدينا نموذجنــا للخليــة الوحيــدة. نمــوذج مبــسط للغايــة خطوطه الخارجية في بعدين وقد ثبت فيه ســتة زنبركــات مرنـــة، أحــدها لديــه ميزة خاصة بالاستجابة للمط الذى يفــرض عليــه مــن الخــارج بــأن ينقــبض بنشاط. هذا هو الطور الأول من عملية النمذجــة. فــي الطــور الثــانى استنــسخ أوستر وزملاؤه عشرات قليلة من خلايــاهم النموذجيــة ورتبوهــا فــي دائــرة، مثل بلاستولا (من بعدين). ثم أخذوا إحــدى الخلايــا وقرصــوا خيطهــا الــدقيق القادر على الانقباض حتى يستثيروه للانقباض. مــا حــدث بعــدها يــصل فــي روعته إلى حد لا يكاد يُحتمل. نموذج البلاستولا حدث لــه تحوصــل فــوهى! هــاك ست لقطات للشاشة تظهر ما حــدث (مــن أ إلــى و بأســفل). انتــشرت جانبًــا موجة من الانقباض من الخلية التى استثيرت، وانغمدت كرة الخلايا تلقائيا.



نموذج أوستر للتحوصل الفوهى للبلاستولا

بل إنها تصبح أحسن حالاً. حاول أوستر وزملاؤه إجراء التجربة على نموذج الكمبيوتر وهم يخفضون من مستوى "عتبة إثارة " الخيوط الدقيقة المنقبضة. وكانت نتيجة ذلك موجة انغماد انطلقت إلى ما هو أبعد وأدت بالفعل إلى تكوين وفصل "أنبوبة أعصاب " (أنظر لقطات الشاشة في الشكل التالى من (أ) حتى (ح). من المهم أن نفهم ما يكونه في الحقيقة نموذج من هذا النوع. فهو ليس تمثيلاً مضبوطًا لتكوين أنبوبة الأعصاب. بصرف النظر تمامًا عن حقيقة أنه نموذج من بعدين ومبسط في جوانب أخرى كثيرة، فإن هذه الكرة من الخلايا التى شكلت "أنبوبة أعصاب" (لقطة الشاشة (أ)) لم تكن "حوصلة فوهية" ذات طبقتين كما كان ينبغى أن تكون. وإنما هي مماثلة لنفس نقطة البداية للبلاستولا التى رأيناها في نموذج التحوصل السابق أعلاه. ليس هذا مهما: النماذج لا يفترض فيها أن تكون مضبوطة بالكامل في كل تفصيل. ما زال النموذج يوضح لنا مدى سهولة محاكاة الجوانب المختلفة من سلوك الخلايا في الجنين المبكر. حقيقة أن "كرة " الخلايا ذات البعدين قد استجابت تلقائيًّا لعامل الإثارة حتى مع أن النموذج أبسط من الموقف الواقعى، هذه الحقيقة تجعل من هذه التجربة دليلاً أكثر قوة. فهى تعيد طمأنتنا إلى أن تطور العمليات المختلفة في التنامى المبكر للجنين لا يلزم أن يكون أمرًا بالغ الصعوبة. دعنا نلاحظ أن ما هو سهل هنا هو النموذج وليس الظاهرة التى يثبتها عمليًّا. هكذا يكون الطابع المميز للنموذج العلمى الجيد.



تكوين "قناة الأعصاب" في نموذج أوستر

هدفى من عرض نماذج أوستر هو أن أوضح "النوع" العام للمبدأ الذى يمكن أن تتفاعل به الخلايا المفردة إحداها مع الأخرى لبناء الجسم، بدون أى طبعة تصميم زرقاء تمثل الجسم كله. وجود طى بما يماثل "الأوريجامى"، وكذلك أسلوب أوستر في الانغماد والفصل بالقَرص: هذه كلها مجرد بعض من أبسط الحيل لبناء الأجنة. هناك حيل أخرى أكثر تعقدًا تلعب دورها لاحقًا في التنامى الجنينى. وكمثل لذلك، قد بينت تجارب مبدعة أن الخلايا العصبية عندما تنمو خارجة من الحبل

الشوكى، أو من المخ، فإنها تجد طريقها إلى العضو الانتهائى ليس بأن تتبع أى خطة عامة، وإنما بواسطة الجذب الكيماوى، بما هو أشبه بكلب يتشمم فيما حوله ليجد كلبة في الدور النزوى. أجرى روجر سبرى عالم الإمبريولوجيا الحائز على جائزة نوبل تجربة كلاسيكية في وقت مبكر توضح هذا المبدأ توضيحًا متقنًا. أخذ سبرى هو وأحد زملاءه فرخ ضفدع وأزالوا مربع جلد صغير من ظهره. وأزالوا مربعًا آخر بالحجم نفسه من جلد بطنه. ثم أعادوا زرع المربعين، ولكن بحيث يكون كل منهما في مكان الآخر. فزُرع جلد البطن على الظهر، وجلد الظهر على البطن. عندما نما فرخ الضفدع إلى ضفدع بالغ، كانت النتيجة طريفة نوعًا، كما يحدث كثيرًا في تجارب الإمبريولوجيا. كان هناك طابع بريد أنيق من جلد البطن الأبيض وسط جلد الظهر القاتم المبرقش، وطابع بريد أنيق آخر من جلد قاتم مبرقش وسط جلد البطن الأبيض. الآن، إلى النقطة المهمة في القصة. في الأحوال الطبيعية، عندما ندغدغ ضفدعة بشعرة خشنة على ظهرها فإنها تمسح المكان بقدمها، وكأنها تبعد ذبابة مزعجة. ولكن عندما دغدغ سبرى ضفدعة تجربته على الرقعة البيضاء فوق ظهرها، فإنها مسحت بطنها! وعندما دغدغها على الرقعة القاتمة فوق بطنها فإن الضفدعة مسحت ظهرها.

حسب تفسير سبرى، فإن ما يحدث في التنامى الجنينى الطبيعى، هو أن المحوارات (أسلاك طويلة كل واحد منها امتداد أنبوبى ضيق لخلية عصبية واحدة) تنمو خارجة من الحبل الشوكى وهى تلتمس ضالتها، وكأنها تتشمم كالكلب ملتمسة جلد البطن. هناك محوارات أخرى تنمو خارجة من الحبل الشوكى وهى تتشمم ملتمسة جلد الظهر. ويؤدى هذا في الأحوال الطبيعية إلى أن تُعطى النتائج الصحيحة: الدغدغات على الظهر يُحس بها على أنها على الظهر، في حين أن الدغدغات على البطن يحس بها على أنها على البطن. أما في ضفدعة تجربة سبرى، فإن بعض الخلايا العصبية التى تتشمم ملتمسة جلد البطن وجدت طابع بريد

جلد البطن وقد زرع على الظهر، والسبب فيما يفترض أنه له الرائحة المناسبة. والعكس بالعكس. يؤمن أناس ببعض نظرية عن "الصفحة البيضاء" – حيث نولد كلنا بعقل من صفحة بيضاء، لا نلبث أن نملأه بالخبرة – وهؤلاء لا بد وأن نتيجة تجربة سبرى قد أذهلتهم. فالمفروض لديهم أنهم يتوقعون أن الضفادع سوف تتعلم بالخبرة أن تتحسس طريقها حول جلدها وتربط الأحاسيس المناسبة مع الأماكن المناسبة على الجلد. يبدو بدلاً من ذلك أن كل خلية عصبية في الحبل الشوكى عليها بطاقة تعنونها مثلاً كخلية عصبية للبطن أو خلية عصبية للظهر، وذلك حتى قبل أن تجرى أى اتصال بالجلد المناسب. وهى ستجد لاحقًا نقطة الهدف المخصصة من الجلد، أينما تكون. إذا حدث أن ذبابة زحفت بطول ظهر ضفدعة سبرى، فإن الضفدعة سوف تخبر فيما يفترض شعورًا وهميًا خادعًا بأن الذبابة قد وثبت فجأة من ظهرها لبطنها، وإذا زحفت الذبابة لأبعد قليلاً فإنها تثب تلقائيًّا إلى الظهر ثانية.

أدت التجارب من هذا النوع إلى أن يصوغ سبرى فرضه عن "الانجذاب – الكيميائى"، وحسب هذا الفرض فإن الجهاز العصبى يمد شبكة أسلاكه، ليس بأن يتبع طبعة تصميم زرقاء عامة، وإنما بواسطة أن كل محوار مفرد يلتمس الأعضاء الانتهائية التى تكون له علاقة انجذاب كيماوى خاص معها. مرة أخرى لدينا هنا وحدات موضعية صغيرة تتبع قواعد موضعية. الخلايا عموما تعج "بلافتات معنونة"، شارات كيميائية تمكنها من العثور على "زملائها". نستطيع أن نعود ثانية إلى مثال القياس بالأوريجامى لنجد موضعًا آخر حيث يكون مبدأ وضع اللافتات مفيدًا. فن الأوريجامى البشرى باستخدام الورق لا يُستعمل صمغًا لاصقًا، وإن كان يمكنه استخدامه. فن الأوريجامى الجنينى حيث الأجسام الحيوانية تضم نفسها معا، يستخدم في الحقيقة شيئا يرادف الصمغ. أو الأولى أنه يستخدم

أصناف صمغ؛ لأن هناك الكثير منها، وها هنا حيث يأتي وضع اللافتات منتصرًا بذاته. لدى الخلايا ذخيرة معقدة من "جزيئات اللصق" توجد فوق سطحها حيث تلتصق بالخلايا الأخرى. يلعب هذا اللصق الخلوى دورًا مهما في تنامى الجنين في كل أجزاء الجسم. على أن هناك فارقًا مهما عن أنواع الصمغ المألوفة لنا. الصمغ بالنسبة لنا هو الصمغ. بعض أنواع الصمغ أقوى من الأنواع الأخرى، وبعضها أسرع من الأخرى، وبعضها مثلا، تكون أنسب للخشب، في حين أن بعضها الآخر يصلح بأفضل للمعادن أو البلاستك. على أن هذا فيه الكفاية عن تنوع مواد الصمغ.

جزيئات لصق الخلايا أبرع من ذلك بكثير جدًا. يمكننا القول بأنها أكثر اهتماما بالتفاصيل. أنواع الصمغ الجزيئى، هي بخلاف الصمغ الصناعى الذى يلتصق بمعظم الأسطح، لا تلتصق إلا بأنواع معينة من جزيئات لصق الخلايا الأخرى التى تكون من النوع المناسب بالضبط. بعض فئات جزيئات اللصق في الفقاريات تسمى "cadherins، الكادهرين"(*) تأتى فيما يقرب من ثمانين نكهة معروفة حاليًا. كل واحد من هذه النكهات الثمانين، فيما عدا بعض الاستثناءات، لا يلتصق. إلا بنوعه هو نفسه. دعنا لدقيقة ننسى الصمغ: ربما هناك مثال قياس أفضل هو لعبة حفل الأطفال حيث يخصص لكل طفل اسم حيوان، ويكون عليهم كلهم أن يدوروا فيما حولهم بالغرفة وهم يصخبون بأصوات تشبه صوت الحيوانات المخصصة لكل منهم. يعرف كل طفل أن هناك فقط طفلاً واحدًا آخر قد خصص له اسم حيوان مثله، وعليه أن يعثر على شريكه بأن يتسمع من خلال الأصوات المتنافرة التى تقلد حيوانات حظيرة المزرعة. مواد "الكادهرين" تعمل بمثل ذلك. لعل القارئ يستطيع مثلى أن يتخيل على نحو غامض كيف أن طلاء سطح الخلايا طلاء مميزًا بمواد "كادهرين" معينة

(*) كلمة cadherins مخصورة العبارة الإنجليزية Calcium dependant adhesions. (المترجم)

عند نقاط إستراتيجية ربما يؤدى معًا إلى أن يصقل ويعقد من مبادئ التجميع الذاتى لفن الأوريجامى الجنينى. دعنا نلاحظ مرة أخرى أن هذا لا يتضمن أى نوع من خطة عامة، وإنما الأولى أن فيه تجميعًا تدريجيًا بقواعد موضعية.

الإنزيمات

الآن وقد رأينا كيف أن صفحات بأكملها من الخلايا تلعب لعبة الأوريجامى في تشكيل الجنين، دعنا نغوص داخل خلية مفردة، حيث سنجد المبدأ نفسه من الطى الذاتى والتغضن الذاتى، ولكن ذلك بمقياس أصغر كثيرًا، مقياس الجزىء المفرد للبروتين. البروتينات لها أهمية هائلة، لأسباب لا بد لى من أقضى وقتًا في شرحها، مع البدء بالتأمل بإلحاح لتمجيد الأهمية الفريدة للبروتينات. كم أحب التأمل في فكرة أننا ينبغى أن نتوقع أن تكون الحياة في أى مكان آخر من الكون غريبة عنا ومختلفة تمامًا، إلا أن هناك أمرًا واحدًا أو أمرين اثنين أظن أنهما سيوجدان بصفة عامة أينما توجد الحياة. سيثبت في النهاية أن الحياة كلها قد تطورت عن طريق عملية لها علاقة بالانتخاب الطبيعى الداروينى للجينات، وأن هذه الحياة ستعتمد بشدة على البروتينات – أو على جزئيات هي مثل البروتينات، قادرة على أن تطوى نفسها لأشكال ذات تنوع هائل. جزيئات البروتين هي بمثابة متذوقى الفن بالنسبة لفنون الأوريجامى الذاتية، وذلك بمقياس أصغر كثيرًا من مقياس صفحات الخلايا الذى تعاملنا معه حتى الآن. جزيئات البروتين تعد حالات استعراض مبهرة يمكن التوصل لها عند الإذعان لقواعد موضعية بالمقياس الموضعى.

تتكون البروتينات من سلاسل من جزيئات أصغر تسمى الأحماض الأمينية، وهذه السلاسل، هي مثل صفحات الخلايا التى نظرنا أمرها،

تطوى نفسها أيضًا، بطرائق محددة بشدة ولكنها بمقياس أصغر كثيرًا. سنجد في البروتينات التى تحدث طبيعيًّا أن هناك إحدى الحقائق (وهى حقيقة يفترض أنها ستكون على نحو مختلف في العوالم الأجنبية عنا) وهى أن فيها فقط عشرين نوعًا من الأحماض الأمينية، فكل البروتينات إنما هي سلاسل خيطت معا من هذه الذخيرة فحسب من العشرين حامضًا، وهى مستقاة من مجموعة من الأحماض الأمينية الممكنة عددها أكبر كثيرًا. نعود الآن إلى الأوريجامى الذاتى. جزيئات البروتين، إذ تتبع ببساطة قوانين الكيمياء والديناميكا الحرارية، فإنها تلوى نفسها تلقائيًا وأوتوماتيكيًا في أشكال ثلاثية الأبعاد قد ضبطت بدقة – أكاد أقول أنها "عُقَد "، ولكن البروتينات بخلاف سمك الجريث(*) (إذا كان لى أن أفصح عن حقيقة بلا مبرر وبلا أهمية للموضوع ولكنها فيها بعض نوع من المشاركة)، فالبروتينات لا تربط نفسها في عقد بالمعنى الحرفى للكلمة. البنية الثلاثية الأبعاد التى يحدث لسلسلة البروتين أن تطوى وتلوى نفسها فيها هي "البنية الثلاثية"، التى لاقيناها لزمن وجيز عندما نظرنا أمر التجميع الذاتى للفيروسات. أى تتابع بعينه من الأحماض الأمينية بفرض نمط طي بعينه. تتابع الأحماض الأمينية، الذى يتحدد هو نفسه حسب تتابع الحروف في الشفرة الجينية، هو الذى يحدد شكل "البنية الثلاثية(١)". شكل البنية الثلاثية تترتب عليه بدوره نتائج كيميائية هائلة الأهمية.

(*) سمك الجريث سمك بحرى بدائى صغير يتعلق بأسماك أخرى بواسطة فمه الماص ثم يحفر بأسنانه في جسدها ويأكلها.(المترجم)

(١) يلزم مع هذه الإفادة تحفظ مهم. تحديد تتابع الأحماض الأمينية بواسطة الجينات هو حقًا أمر مطلق. ولكن تحديد الشكل الثلاثى الأبعاد بتتابع الأحماض الأمينية ذى البعد الواحد ليس بأمر مطلق، وهذا مهم حقًا. هناك بعض تتابعات للأحماض الأمينية لها القدرة على أن تؤدى=

الأوريجامى الذاتى الذى يـتم بواسـطته أن تنطـوى سلاسـل البـروتين وتلوى نفسها، تتحكم فيه قوانين الانجـذاب الكيميـائى، وكـذلك القـوانين التـى تحدد الزوايا التى ترتبط بها الذرات إحداها بـالأخرى. هيـا نتخيـل قـلادة مـن مغناطيسات ذات أشكال غريبة. لن تتـدلى هـذه القـلادة فـي انحنـاء رشـيق

= لالتفاف شكلين بديلين بأبعاد ثلاثية. مثال ذلك أن البروتينات التى تسمى بالبريونات لديها شكلان مستقران. هذه بدائل متميزة ليس لها توسطيات مستقرة، بالطريقة نفسها التى يكون بها زر تشغيل الإضاءة مستقرًا في الوضع لأعلى والوضع لأسفل وليس له مكان استقرار فيما بينهما. هذه البروتينات التى تماثل أزرار التشغيل يمكن أن تكون كارثية أو أنها قد تكون مفيدة. فهى كارثية في حالة البريونات. نجد في "مرض جنون البقر" أن بروتينا مفيدًا في المخ (هو عنصر مكون طبيعى لأغشية الخلايا) يتفق أن له شكل بديل – طريقة بديلة لأن يطوى نفسه بالأوريجامى الذاتى. الشكل البديل لا يُرى قط طبيعيا، ولكن إذا حدث له بأى حال أن نشأ في جزىء واحد، فإنه يقدح زناد الجزيئات المجاورة لأن تعمل على منواله: فهى تنسخه وتنقلب إلى الشكل البديل. الشكل البديل من البريون ينتشر خلال المخ مثل موجة من قطع الدومينو وهى تتهاوى، أو مثل انتشار شائعة على نحو غير مسئول، وينتج عن ذلك نتائج كارثية بالنسبة للبقرة – أو بالنسبة للأشخاص في حالة مرض كرويتزفلت – جاكوب"، أو بالنسبة للغنم في حالة "الحكاك". ولكن يحدث أحيانًا أن الجزيئات ذات القدرة على أن تطبق على نفسها فن الأوريجامى الذاتى وتنتهى إلى أكثر من شكل بديل واحد، قد تكون جزيئات مفيدة. بدون أن نترك الاستعارة المجازية عن زر تشغيل الضوء سنجد مثلاً جميلاً في "الرودوبسين"، وهو البروتين الموجود في أعيننا والمسئول عن حساسيتنا للضوء، وله عنصر مكون مغروس يسمى بأنه الشبكى (وهذا ليس بروتينا هو نفسه) ينتقل من شكله الرئيسى المستقر إلى تشكيل بديل عندما يصطدم به احد فوتونات الضوء. ثم يعود بعدها سريعًا لشكله الأول، مثل زر تشغيل للضوء على ساعة توقيت لخفض التكاليف. على أن هذا الانتقال يكون قد تم تسجيله في المخ: "فيتم الكشف هنا عن الضوء في هذا الموضع البالغ الصغر". هناك كتاب رائع لجاك مونو عنوانه "الصدفة والضرورة" وهو بوجه خاص جيد فيما يتعلق بهذه الجزيئات ذات أزرار التشغيل المزدوجة الاستقرار.

حول عنق رشيق. سوف تتخذ بعض شكل آخــر، وتــصبح فــي حالــة تــشابك حيث المغناطيسات يمسك أحدها بــالآخر ويتــداخل الواحــد منهــا فــي زوايــا وشقوق الآخر عند نقط مختلفة بطول السلــسلة. شــكل هــذا التــشابك لا يمكــن التنبؤ به بالضبط، بخلاف حالــة سلــسلة البــروتين؛ وذلــك لأن أى مغنــاطيس سيجذب أى واحد آخر. ولكن هذا يطرح بالفعــل كيــف أن سلاســل الأحمــاض الأمينية تستطيع أن تشكل تلقائيًــا بنيــة معقــدة شــبيهة بالعقــدة، وقــد لا تبــدو شبيهة بسلسلة أو قلادة.

لم تُفهم بعد فهما كــاملاً تفاصــيل الطريقــة التــى تحــدد بهــا قــوانين الكيمياء البنية الثلاثيــة لأحــد البروتينــات: لــم يــستطع الكيميــائيون بعــد أن يستنتجوا في كل الحالات الطريقة التى يلتف بها تتــابع معــين مــن الأحمــاض الأمينية. ومع ذلك فإن هناك أدلة قوية على أن البنية الثلاثيــة هــي "مــن حيــث المبدأ" يمكن استنباطها من تتابع الأحمــاض الأمينيــة. لــيس هنــاك أى شــىء غامض بشأن عبارة "مــن حيــث المبــدأ ". مــا مــن أحــد يــستطيع أن يتنبــأ بالطريقة التى يقع بها حجر النرد عند إلقائه، ولكننــا جميعًــا نــؤمن بــأن هــذا يتحدد بالكامل بالتفاصيل الدقيقة لطريقة إلقائه، مــع بعــض الحقــائق الإضــافية بشأن مقاومة الريح وما إلى ذلك. من الحقائق التى ثبتــت عمليــا أن كــل تتــابع معين من الأحماض الأمينية يلتف دائمًا في شــكل معــين، أو فــي أحــد أشــكال مجموعة متميزة من الأشكال البديلــة (انظــر الهــامش الطويــل الــسابق). ثــم نجد – وهذه هي النقطة الهامة فــي التطــور – أن تتــابع الأحمــاض الأمينيــة هو نفسه محتم بالكامل، عن طريق تنفيــذ قواعــد الــشفرة الوراثيــة، بواســطة تتابع "الحروف" (في ثلاثيات) في الجين. لــيس مــن الــسهل علــى الكيميــائيين من البشر أن يتنبأوا بنوع التغير الــذى ســيحدث فــي شــكل البــروتين نتيجــة طفرة جينية معينة، ومع ذلك سيبقى مــن الحقــائق أنــه مــا إن تحــدث طفــرة،

فإن التغير الناتج في شكل البروتين سيكون من حيث المبدأ مما "يمكن" التنبؤ به. الجين الطافر نفسه سوف ينتج على نحو موثوق به نفس الشكل المتغير للبروتين (أو أحد الأشكال من قائمة مميزة لأشكال تبادلية). وهذا هو كل ما يهم بالنسبة للانتخاب الطبيعي. الانتخاب الطبيعي ليس في حاجة لأن يفهم السبب في أن تغيرًا جينيًا تترتب عليه نتيجة معينة. يكفيه أن هذا يحدث. إذا كانت هذه النتيجة تؤثر في البقاء، فإن الجين المتغير نفسه سوف يصمد أو يفشل في المنافسة للسيطرة على المستودع الجينى، سواء فهمنا أو لم نفهم الطريق المضبوط الذى يؤثر به الجين في البروتين.

باعتبار أن شكل البروتين متعدد إلى حد هائل، وباعتبار أنه يتحدد بالجينات، ما السبب في أهميته هكذا أهمية فائقة ؟ السبب في جزء منه هو أن بعض البروتينات تؤدى دورًا بنيويًّا مباشرًا في الجسم. البروتينات الليفية مثل الكولاجين، تترابط معًا في حبال متينة نسميها الأربطة (ligaments) والأوتار (tendons). إلا أن معظم البروتينات ليست ليفية. وبدلاً من ذلك فإنها تطوى نفسها في شكلها الكروى الخاص المميز، وقد اكتملت بانبعاجات رهيفة، وهذا الشكل يحدد دور البروتين المميز "كإنزيم"، أى كعامل حفز (catalyst).

عامل الحفز مادة كيميائية تزيد من سرعة التفاعل الكيميائى بين مواد أخرى بما يصل إلى بليون مرة أو حتى ترليون مرة، بينما الحافز نفسه يخرج من العملية سالمًا وله الحرية في أن يقوم ثانية بعملية حفز. الإنزيمات حوافز بروتينية، وهى أبطال متميزة بين كل الحوافز وذلك بسبب "تخصصها" في تأثيرها: فهى تدقق كل التدقيق في أن تتخير بدقة ما يكونه التفاعل الكيميائى الذى ستعمل على أن تزيد من سرعته. أو لعلنا

نستطيع أن نقول أن التفاعلات الكيميائية في الخلايا الحية تدقق كل التدقيق في أن تتخير أى من هذه الإنزيمات ستعجل من هذه التفاعلات. هناك تفاعلات كثيرة في كيمياء الخلية بطيئة غاية البطء حتى إنها بدون الإنزيم المناسب لن تحدث مطلقًا من الوجهة العملية. أما مع الإنزيم المناسب، فإنها تحدث بسرعة بالغة، وتستطيع أن تزبد وتتمخض وينبثق منها منتجات بحجم ضخم.

إليكم كيف أود أن أطرح الأمر: يوجد في معمل للكمياء مئات من القوارير والأوانى فوق أرففه، كل منها يحوى مادة نقية مختلفة: مركبات وعناصر، ومحاليل ومسحوقات. يرغب أحد الكيميائيين في إجراء تفاعل كيميائى معين فيختار قارورتين أو ثلاث، ويأخذ عينة من كل واحدة منها، ويخلطها في أنبوبة اختبار أو دورق، وربما يستخدم التسخين، ويحدث التفاعل. التفاعلات الكيميائية الأخرى التى يمكن أن تحدث في المعمل لا تحدث فعلاً، لأن الجدران الزجاجية للقوارير والأوانى تمنع التقاء مكونات التفاعل. إذا أردنا إجراء تفاعل كيميائى مختلف، سنمزج مكونات التفاعل المختلفة في دورق مختلف. هناك في كل مكان حواجز زجاجية تُبقى المواد النقية منفصلة إحداها عن الأخرى في القوارير أو الأوانى، وتبقى التوليفات المتفاعلة منفصلة إحداها عن الأخرى في أنابيب الاختبار أو الدوارق أو الكئوس.

الخلية الحية هي أيضًا معمل كيمياء كبير، ولديها مخزن كيماويات كبير بما يماثل ذلك، ولكنها ليست محفوظة في قوارير وأوانى منفصلة فوق الأرفف. فهى كلها مخلوطة معًا. الأمر وكأن هناك مخرب، أو كيميائى يُعد أستاذًا في الفوضى قد دخل المعمل، وأمسك بكل القوارير

من فوق كل الأرفف وقلبها جميعًا بحماس فوضوى داخل مرجل واحد ضخم. ترى هل هذا فعل فظيع ؟ سيكون كذلك لو أن هذه الكيماويات تفاعلت كلها معًا بكل التوليفات الممكنة لاتحادها معًا. ولكنها لا تتفاعل. أو أنها إذا تفاعلت تكون سرعة تفاعلها معًا بالغة البطء وكأنها لا تتفاعل مطلقًا. "إلا إذا" كان أحد الإنزيمات موجودًا – وهذه هي كل النقطة المهمة هنا – لا حاجة هنا للاحتفاظ بهذه المواد منفصلة في قوارير وأوانٍ زجاجية، لأنها بكل النوايا والأغراض لن تتفاعل معًا بأى حال – "إلا" إذا وُجد الإنزيم المناسب. ما يرادف هنا حفظ الكيماويات في قوارير مقفلة إلى أن نحتاج إلى مزج اثنين معينين منها هما (أ) و (ب) مثلا، هذا المرادف هو أن نمزج كل مئات المواد في إناء ضخم للتخمير عند إحدى الساحرات، ولكننا لا نمد إلا بالإنزيم المناسب وحده لحفظ التفاعل بين (أ) و (ب) وليس لحفز أى إتحاد آخر. الواقع أن الاستعارة المجازية عن ذلك المخرب الفوضوى النزعة الذى يقلب القوارير لهى استعارة تذهب لأبعد مما يجب. الخلايا تحوى بالفعل بنية تحتية من أغشية تجرى التفاعلات الكيميائية فيما بينها وفى داخلها. تلعب هذه الأغشية إلى حد ما دون الفواصل الزجاجية بين أنابيب الاختبار والدوارق.

النقطة المهمة في هذا الجزء من هذا الفصل هي أن "الإنزيم المناسب" يكتسب "صفة ملاءمته" إلى حد كبير من خلال شكله الفيزيقى (وهذا أمر مهم؛ لأن الشكل الفيزيقى يتحدد بالجينات، وتغايرات الجينات هي التى يحبذها في النهاية الانتخاب الطبيعى أو يرفضها). هناك كم وفير من الجينات تتجرف وتلتوى وتدور خلال الحساء الذى يغمر الخلية من داخلها. ربما سيسعد جزىء من المادة (أ) بأن يتفاعل مع جزىء من المادة (ب) ولكن هذا التفاعل يحدث فقط إذا اتفق أن اصطدم الجزيئان وهما في

مواجهة معا في الاتجاه المناسب بالضبط أحدهما بالنسبة للآخر. ولكن هذا على نحو حاسم، نادرًا ما يحدث – "إلا" إذا تدخل الإنزيم المناسب. الشكل المضبوط للإنزيم، هو الشكل الذى يطوى فيه نفسه مثل قلادة مغناطيسية، ويكون منقورًا بالتجاويف والانبعاجات، وكل منها له شكل ضُبط بدقة. لدى كل إنزيم ما يسمى "بالموقع النشط"، وهو عادة انبعاج أو جيب معين، له من شكله وخصائصه الكيميائية ما يضفى على الإنزيم خصوصية تأثيره. كلمة "الانبعاج" لا تنقل على نحو كاف معنى الخصوصية والدقة في هذا الميكانزم. ربما تكون المقارنة أفضل عند التشبيه بالمقبس الكهربائى. البلاد المختلفة في العالم بأسره قد اتخذت على نحو مستفز مواصفات تعسفية مختلفة للقابس Plug والمقبس Socket، مما يسميه صديقى عالم الحيوان جون كريب بأنه "مؤامرة القابس الكبرى " القوابس البريطانية لا تناسب المقابس الأمريكية أو الفرنسية، وهلم جرا. مواقع النشاط على سطح جزيئات البروتين هي مقابس لا تتلاءم معها إلا جزيئات معينة. ولكن بينما تجرى مؤامرة القابس الكبرى بين ستة فحسب من الأشكال المختلفة في العالم كله (تكفى تمامًا لأن تشكل مصدر إزعاج مستمر للمسافر)، فإن أنواع المقابس المختلفة التى تتلاعب بها الإنزيمات عددها أكبر إلى حد كبير.

هيا نتأمل إنزيما معينا يحفز الاتحاد الكيميائى بين الجزيئين (ص) و(ض) لصنع المركب (ص ض). أحد نصفى الموقع النشط "المقبس" يناسب فحسب جزيئا من نوع (ص) ليأوى داخله، مثل لعبة قطع الصور المتشابكة (jigsaw). النصف الآخر من المقبس نفسه قد تشكل بدقة مساوية ليدخل فيه الجزىء ض – بحيث يواجه بالضبط الجزىء ص الموجود هناك من قبل، بالطريقة المناسبة لأن يتحد معه كيميائيًّا. هكذا

يتشارك جزئ ص وجزئ ض في أحد الانبعاجات وقد أُبقيا في إحكام أحدهما بالنسبة للآخر في الزاوية المناسبة بالضبط بواسطة جزىء الإنزيم الذى يقوم بدور وسيط الزواج، وبالتالى فإن ص و ض يتحدان معا. والآن ينطلق المركب الجديد ص ض مبتعدًا إلى داخل الحساء، تاركًا الانبعاج النشط في جزىء الإنزيم وقد تحرر حتى يجلب معا جزيئان آخران من ص و ض. قد تكون إحدى الخلايا مليئة بحشود من جزيئات إنزيمات متماثلة، كلها تعمل كالروبوتات في مصنع سيارات، وهى تتمخض لتنتج مركب ص ض بكميات في الخلية ترادف كميات الانتاج في الصناعة. إذا وضعنا إنزيمًا آخر في الخلية نفسها ستتمخض عن منتج مختلف، ربما يكون ط ع، أو ظ غ، أو ن هـ. يختلف المنتج النهائى، وإن كانت المواد الخام المتاحة هي نفس المواد. هناك أنواع أخرى من الإنزيمات لا تختص بإنشاء مركبات جديدة، وإنما تختص بتحلل المركبات القديمة. بعض هذه الإنزيمات تشارك في هضم الطعام، وهى تُستغل أيضًا كمساحيق غسيل "بيولوجية". ولكن حيث أن هذا الفصل يدور حول بناء الأجنة، فإننا نهتم هنا غالبًا بالإنزيمات البنائية، التى تعمل كوسيط لتركيب المركبات الكيميائية الجديدة . إحدى هذه العمليات موضحة أثناء قيامها بالعمل في ص٨ الملونة.

لعل هناك مشكلة يلقاها القارئ هنا. حسن جدًا أن نتحدث عن لعبة قطع الصور المتشابكة وما فيها من انبعاجات ومقابس، وعن مواقع النشاط المتخصصة بأعلى درجة ولديها القدرة على زيادة سرعة تفاعلات كيميائية معينة بما يصل إلى تريليون مرة. ولكن ألا يبدو هذا كله رائعًا بأكثر مما يمكن تصديقه ؟ كيف يحدث أن جزيئات إنزيم لها الشكل المناسب بالضبط تتطور من بدايات أقل كمالاً ؟ ما احتمال أن مقبسًا قد تشكل عشوائيا،

سيكون له الشكل المناسب بالضبط، والخصائص الكيميائية المناسبة بالضبط، ليرتب زواجًا بين الجزيئين ص و ض، متحايلاً على أن يلتقيا عند الزاوية الملائمة بالضبط ؟ لن يكون هذا احتمالاً كبيرًا جدًا إذا فكرنا بطريقة "إنهاء لعبة قطع الصور المتشابكة " – أو إذا فكرنا حقا بطريقة "مؤامرة القابس الكبرى ". علينا بدلا من ذلك أن نفكر بطريقة "الممال السلس للتحسن". وكما يحدث كثيرا عندما نواجه بتلك الأحجية عن مدى تركب وعدم إحتمال نشأة الأشياء في التطور، سيكون من المغالطة أن نفترض عندها أن الصورة النهائية المتقنة بالكامل التى نراها الآن وُجدت بالطريقة نفسها التى كانت دائمًا موجودة بها. جزيئات الإنزيمات التى اكتملت صياغتها في تطور راق تنجز زيادة في سرعة التفاعلات التى تحفزها تصل إلى تريليون مثل، وهى تفعل ذلك لأنها قد صنعت بحرفية رائعة في الشكل المناسب بالضبط. ولكننا لا نحتاج إلى زيادة سرعة التفاعل بترليون مثل حتى ننال تحبيذ الانتخاب الطبيعى. سيكفى لذلك تماما زيادة السرعة بمليون مثل ! وكذلك أيضا زيادتها بألف مثل. وربما حتى ستكون زيادة السرعة بعشرة أمثال أو بمثلين كافية لأن يكون للانتخاب الطبيعى قبضة محكمة بكفاءة. هناك ممال سلس من التحسن في أداء أى إنزيم، بطول كل الطريق ابتداء مما يكاد يكون عدم وجود لأى انبعاج مطلقا، ثم مرورا بالانبعاج ذى الشكل البدائى، ووصولا إلى المقبس الذى له بالضبط الشكل المناسب والبصمة الكيميائية المناسبة. "الممال" يعنى أن كل خطوة يكون فيها تحسن ملحوظ عن سابقتها، مهما كان صغيرا. وما هو "ملحوظ" بالنسبة للانتخاب الطبيعى يمكن أن يعنى تحسنا أقل من الحد الأدنى اللازم لأن نلاحظه نحن.

هكذا فنحن نرى كيف ينجح هذا في العمل. أمر رائع ! الخلية مصنع كيماوى متعدد الأغراض، قادر على أن تخرج منه كميات هائلة من مدى واسع متنوع من المواد المختلفة، ويتم الاختيار هنا حسب الإنزيم الذى يكون موجودا. كيف يتم صنع "هذا" الاختيار ؟ حسب الجين الذى "يتم تشغيله ". وكما أن الخلية تمثل وعاء ضخما مليئا بالكثير من الكيماويات، لا يتفاعل منها إلا القلة أحدها مع الآخر، فبمثل ذلك نجد أن كل نواة خلية تحوى كل الجينوم، إلا أن قلة لا غير من الجينات يتم تشغيلها. عندما يتم تشغيل جين في خلية بنكرياس مثلا، فإن تتابع حروف الشفرة فيه يحدد مباشرة تتابع الأحماض الأمينية في أحد البروتينات؛ وتتابع الأحماض الأمينية (إذا تذكرنا صورة القلادة المغناطيسية ؟) يحدد الشكل الذى يطوى به البروتين نفسه؛ والشكل الذى يطوى به البروتين نفسه يحدد بالضبط شكل المقابس التى تزوج المواد التى تنجرف داخل الخلية. كل الخلايا تحوى جينات لصنع كل الإنزيمات، وذلك مع استثناء خلايا قليلة جدًّا مثل كرات الدم الحمراء التى ينقصها وجود نواة. على أنه في كل خلية واحدة، لا يتم تشغيل إلا جينات قليلة في كل مرة واحدة. في خلايا الغدة الدرقية مثلا يتم تشغيل الجينات التى تصنع الإنزيمات المناسبة لحفز صناعة هرمون الدرقية. ويحدث ما يناظر ذلك في كل الأنواع المختلفة من الخلايا. في النهاية، فإن التفاعلات الكيميائية التى تجرى في إحدى الخلايا تحدد الطريقة التى تتخذ بها الخلية شكلها، والطريقة التى تسلك بها، وطريقة مساهمتها في أسلوب تفاعلات الأوريجامى مع الخلايا الأخرى. هكذا فإن كل سياق التنامى الجنينى يكون محكوما عن طريق تتال متشابك من الأحداث، بواسطة الجينات. الجينات هي التى تحدد تتابع الأحماض الأمينية، وهذا الأخير يحدد البنية الثلاثية للبروتينات التى تحدد بدورها

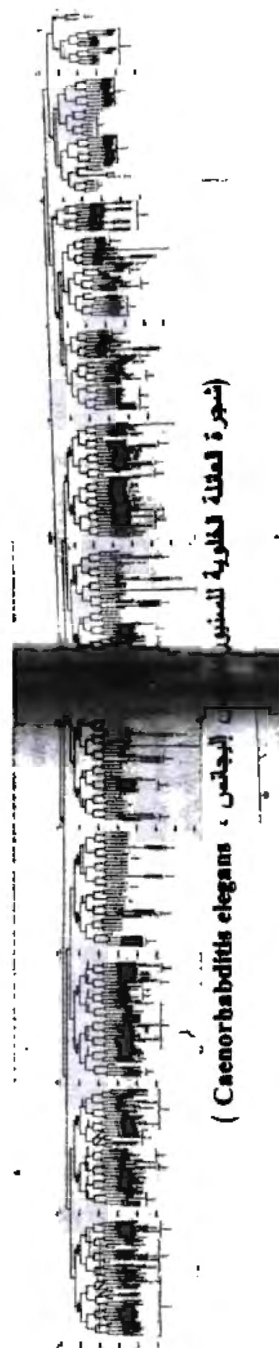
أشكال مواقع النشاط المشابهة للمقبس، وهذه تحدد كيمياء الخلية، التي تحدد بدورها سلوك الخلايا في التنامي الجنيني سلوكا "مشابها لطائر الزرزور". وبالتالي فإن اختلاف الجينات عند طرف الأصل من سلسلة الأحداث المعقدة يستطيع أن يسبب الاختلاف في طريقة تنامي الأجنة، وبالتالي الاختلاف في شكل وسلوك البالغين. يؤدى نجاح هؤلاء البالغين في البقاء والتكاثر إلى تغذية مرتدة مفادها أن تبقى في المستودع الجيني الجينات التي تصنع الفارق بين النجاح والفشل. وهذا هو الانتخاب الطبيعي.

الإمبريولوجيا تبدو معقدة – وهي بالفعل معقدة – إلا أن من السهل استيعاب النقطة المهمة هنا، وهي أننا نتعامل بطول الطريق مع عمليات تجميع ذاتي موضعية. لدينا سؤال منفصل، فباعتبار أن كل الخلايا (تقريبا) تحوى كل الجينات، كيف يتقرر من مِن الجينات سيتم تشغيله في كل نوع مختلف من الخلايا. عليّ الآن أن أعالج هذا بإيجاز.

ثم تأتي تجارب الديدان

تحديد ما إذا كان جين معين سيتم تشغيله في خلية معينة عند وقت معين، أمر يحدث غالبا عن طريق سلسلة منتظمة من جينات أخرى تسمى جينات التشغيل أو جينات التحكم، وذلك بواسطة البيئة الكيميائية للخلية. خلايا الغدة الدرقية تختلف تماما عن خلايا العضلات، وهلم جرا، هذا على الرغم من أن جيناتهما متماثلة. يمكنك أن تقول، هذا حسن جدا، مادام تنامي الجنين يتخذ مجراه، والأنواع المختلفة من الأنسجة مثل الغدة الدرقية والعضلات موجودة من قبل. ولكن كل جنين يبدأ كخلية واحدة. خلايا الغدة الدرقية، والعضلات، والكبد، والعظام، والبنكرياس، والجلد وكلها خلايا تنحدر من خلية واحدة لبويضة مخصبة،

عن طريق شجرة عائلة متفرعة. هذه شجرة عائلة خلوية ترجع وراء لما لا يزيد عن لحظة الحمل، ولا علاقة لها بشجرة التطور التى تعود وراء إلى ملايين السنين، والتى تواصل أن تبرز لنا في فصول الكتاب الأخرى. دعنى أعرض على القارئ مثلا شجرة العائلة الكاملة لكل عدد من الخلايا في إحدى اليرقات، عدد يبلغ ٥٥٨ خلية في كل يرقة فقست حديثا لدودة خيطية اسمها "سينورهابديتيس اليجانس، *Caenorhaditis elegans* " (انظر الرسم السابق بأسفل: مع رجاء الانتباه لكل تفصيل في هذا الرسم التوضيحى). فيما يعرض لا أعرف ما الذى فعلته هذه الدودة الضئيلة الحجم لتكتسب لنوعها اسم "الأنيقة *elegans*" ولكنى أستطيع باستعادة التفكير وراء أن أجد سببا قويا ربما جعلها تكتسب الاسم. أعرف أن قرائى ليسوا كلهم ممن يحبون استطراداتى، ولكن الأبحاث التى أجريت على هذه الدودة فيها نصر مدوٍّ للعلم يجعلنى لا أتوقف عن هذا الاستطراد.



(شجرة العائلة الخلوية للسنيور [illegible] البجانس ، Caenorhabditis elegans)

اختيرت هذه الدودة في ستينات القرن العشرين كحيوان تجريبى مثالى وكان ذلك بواسطة سيدنى برينر العالم الجنوب أفريقى وهو عالم بيولوجيا جهبذ ألمعى. كان وقتها قد أكمل حديثا مع فرنسيس كريك وآخرين في كمبردج، للكشف عن الشفرة الوراثية، وبعدها أخذ يبحث هنا وهناك عن مشكلة جديدة حتى يقوم بحلها. أدى اختياره الملهم لهذه الدودة، وأبحاثه الخاصة الرائدة على وراثياتها وتشريح جهازها العصبى إلى نشأة مجتمع عبر العالم كله من الباحثين في أمر هذه الدودة، تنامى عددهم إلى الآلاف. لن نبالغ إلا قليلا عندما نقول أننا نعرف الآن "كل شيء" عن دودة "سنيور هابديتيس إليجانس"! نحن نعرف جينومها بأكمله. ونعرف بالضبط مكان وجود كل خلية من خلاياها الـ ٥٥٨ في جسدها، (وهذا هو عدد الخلايا في اليرقة، ولكن عددها ٩٥٩ خلية في شكلها البالغ الخنثوى، بدون إحصاء عدد الخلايا التكاثرية)، ونحن نعرف بالضبط "التاريخ العائلى" لكل واحدة من هذه الخلايا عن طريق التنامى الجنينى. نحن نعرف أمر عدد كبير من الجينات الطافرة التى ينتج عنها ديدان شاذة، ونعرف بالضبط أين يكون فعل الطفر في الجسم والتاريخ الخلوى المضبوط لطريقة نشأة الشذوذ. هذا الحيوان الصغير معروف من مبدئه لمنتهاه، ومعروف ظهرا لبطن، ومعروف من الرأس للذيل وبكل المواقع فيما بينهما، معروف قلبا وقالبا ("ياله من يوم ممتع !"). أقر بقدر برينى في وقت متأخر بأن فاز بجائزة نوبل للفيزيولوجيا في ٢٠٠٢، كما تم تكريمه بأن سُمى باسمه نوع له صلة قرابة بالإليجانس وهو "سينورهابديتيس برينيرى، Caenorhabditis brenneris". وبرينير يكتب عمودا منتظما في دروية "كارنت بيولوجى" (البيولوجيا حاليا)، تحت عنوان "العم سيد"، وعموده نموذج للفطنة العلمية الذكية المقتحمة – وفيه أناقة تماثل ما في جهد الأبحاث التى تجرى في العالم بأسره على سى. إليجانس، وهى الأبحاث التى ألهم هو بها. ولكنى أود حقا لو أن علماء البيولوجيا الجزيئية تحدثوا إلى بعض علماء البيولوجيا (مثل برينر نفسه) ليتعلموا

ألا يشيروا إلى "سينور هابديتيس" على أنها "ال" دودة الخيطية، أو حتى على أنها "ال" دودة، وكأنما لا توجد دودة خيطية أو أى دودة أخرى غيرها.

لن يتمكن القارئ بالطبع من قراءة أسماء أنواع الخلايا في الرسم التوضيحى السابق بأسفل (ستلزم سبع صفحات لطبع هذا كله على نحو يُقرأ بوضوح)، ولكن هذه الأسماء تذكر أشياء مثل "البلعوم"، و"عضلة أمعاء"، و"عضلة جسدية"، و"عضلة عاصرة"، و"عقدة حلقية"، و"عقدة قطنية". الخلايا من كل هذه الأنواع هي بالمعنى الحرفى بنات عمومة إحداها للأخرى: بنات عمومة بفضل أسلافها خلال زمن حياة الدودة المفردة. وكمثل فسأنظر إلى خلية عضلة جسدية معينة تسمى "MSpappppa"، وهى أخت لخلية عضلة جسدية أخرى، هي ابنة عم من الدرجة الأولى لخليتين أخريين من الخلايا العضلية الجسدية، هي ابنة عم من الدرجة الأولى أُبعدت ذات مرة من خليتين أخريتين من الخلايا العضلية الجسدية، هي ابنة عم من الدرجة الثانية لست خلايا بلعومية، هي ابنة عم من الدرجة الثالثة لسبع عشرة خلية بلعومية... وهلم جرا. أليس من المذهل أننا نستطيع بالفعل استخدام كلمات مثل "ابنة عم من الدرجة الثانية" بمنتهى الدقة والثقة، للإشارة إلى خلايا مسماة وتكرر التعرف عليها في جسم أحد الحيوانات ؟ عدد "أجيال" الخلايا التى تفصل الأنسجة عن البويضة الأصلية ليس بالغ الكبر. وعلى كل لا يوجد إلا ٥٥٨ خلية في الجسم، ونستطيع نظريا أن نصنع عددا من ١٠٢٤ (٢ للأس ١٠) في عشرة أجيال من انقسام الخلايا. عدد أجيال الخلايا بالنسبة للخلايا البشرية سيكون أكبر كثيرا. ومع ذلك يمكننا من الوجهة النظرية أن نصنع شجرة عائلة مماثلة لكل واحدة من خلايانا التى يصل عددها إلى التريليون خلية مفردة (إزاء ٥٥٨ من خلايا اليرقة الأنثى لسى. إليجانس)، وذلك بأن نتتبع مسار انحدار كل خلية وراء حتى نصل إلى خلية البويضة المخصبة الواحدة. إلا أنه بالنسبة للثدييات لا يمكن تعيين

خلايا معينة بتسمية متكررة. بالنسبة لنا يكون الأمر على نحو أكثر حالة من عشائر إحصائية للخلايا، تختلف تفاصيلها في الأفراد المختلفين.

أرجو ألا يكون استطرادى الحماسى عن أناقة الأبحاث على "سينور هابديتيس" قد صرف انتباهنا عن النقطة المهمة التى كنت أوضحها عن كيف أن أنواع الخلايا تختلف في شكلها وخواصها وهى تتفرع بعيدا إحداها عن الأخرى في شجرة العائلة الجنينية. عند نقطة التفرع بين خلية نسيلة مصيرها أن تصبح خلايا بلعوم، ونسيلة "ابنة عم" لها مصيرها أن تصبح خلايا عقدة حلقية، يجب أن يكون هناك شيء ما يميز بينهما، وإلا فكيف ستعرف هذه الخلايا الطريقة لتشغيل جينات مختلفة ؟ الإجابة هي أنه عندما انقسم أحدث سلف مشترك للنسيلتين، فإن النصفين الاثنين للخلية قبل الانقسام كانا يختلفان أحدهما عن الآخر، وبالتالى، فإنه عندما انقسمت الخلية، فإن الخليتين الإثنين وإن كانتا متماثلتين في جيناتهما (كل خلية ابنة تتلقى مجموعة مكتملة من الجينات) إلا أنهما لا تتماثلان في الكيماويات المحيطة بهما. وهذا يعنى أنه لا يتم تشغيل نفس الجينات – مما يؤدى إلى تغيير مصير سلالتهما. ينطبق هذا المبدأ نفسه في كل الإمبريولوجيا بأكملها، بما في ذلك بدايتها الأولى. مفتاح التمايز في كل الحيوانات هو الانقسام اللاسمترى للخلايا(١).

---

(١) نجد في "سينورهابديتيس" أن الخلية الأصلية المسماة "زد، Z" لها طرف أمامى يختلف عن طرفها الخلفى، وهذا الاختلاف سيصل إلى أن يمثل محور الجسد النهائى للمقدمة –المؤخرة– أماما وخلفا. عندما تنقسم الخلية فإن الخلية الابنة الأمامية المسماة (AB) يكون فيها مادة طرف أمامى أكثر من الخلية الابنة الخلفية التى تسمى (P1) وهذا الاختلاف سيكون فيه تعليمات فرعية لصنع مزيد من الاختلافات بطول خط السلالة. مصير خلية (AB) هو أن ينشأ عنها ما يزيد زيادة لها قدرها عن نصف خلايا الجسد، بما في ذلك معظم الجهاز العصبى، ولن أناقش هذا لأكثر من ذلك. خلية (AB) لها طفلتين هما مرة أخرى تختلف كل منهما عن الأخرى، وتسمى إحداهما (EMS) (وتحدد الجانب البطنى من الدودة النهائية)=

تتبع سير جون سلتون وزملاؤه مسار كل خلية في جسم الدودة وراء حتى خلية واحدة، وواحدة فقط، من الخلايا الست التأسيسية – يمكننا حتى أن نسميها بخلايا "النظام الأمومى"، matriarch's – واسم هذه الخلايا هو AB و MS و E و D و C و P4[١]. استخدم العلماء في تسمية الخلايا ترميزا بارعا يلخص تاريخ كل خلية. يبدأ اسم كل خلية باسم واحدة من الخلايا الست التأسيسية، الخلية التى انحدرت منها السلالة. وبعدها يكون الاسم سلسلة من الحروف، الحروف الأولى عن إتجاه انقسام الخلايا الذى نشأت عنه: <u>a</u>nterior (أمامى)، <u>p</u>osterior (خلفى)، <u>d</u>orsal (ظهرى)، <u>v</u>entral (بطنى)، <u>l</u>eft (أيسر)، <u>r</u>ight (أيمن).

= والطفلة الأخرى، (P2) (تحدد الجانب الظهرى). هؤلاء هم أحفاد (Z) (ليتذكر القارئ هنا أنى عندما استخدم كلمات مثل "أطفال" و "أحفاد"، فأنا أتكلم عن خلايا داخل الجنين المتنامى، وليس عن ديدان مفردة). (EMS) لديها الآن طفلتان، اسمهما (E) و (MS)، بينما (P2) لديها طفلتان اسمهما (C) و (P3). الأطفال E، وMS، و C و P3، هم أحفاد الأبناء لزد (أحفاد الأبناء الآخرون ينحدرون من (AB) ولن أكتب عنهم إلا أن اثنتين منهم اسمهما (ABal)، (Abp1) " تحددان الجانب الأيسر، بينما بنات عمومتهما" (ABar) و (ABpr) تحددان الجانب الأيمن للدودة النهائية). P3 لديها طفلتان هما (D) و (P4) وهما أحفاد أحفاد (Z). (MS) و (C) لديها أيضا أطفال، ولكنى لن أذكر أسماءهم هنا. مصير P4 هو أن ينشأ عنها ما يسمى بالخلايا الجرثومية. الخط الجرثومى يتكون من خلايا لا تشارك في بناء الجسم، ولكنها بدلا من ذلك ستصنع الخلايا التكاثرية. من الواضح أنه ليس هناك حاجة إلى تذكر هذه الاسماء أو تدوين ملاحظات عنها. النقطة المهمة هي فحسب أن الخلايا على الرغم من أنها متطابقة جينيا أحداها مع الأخرى، إلا أنها تختلف في طبيعتها الكيميائية، كنتيجة لتعليمات فرعية تراكمية تترتب على تاريخها من حيث تتابع انقسامات الخلية داخل الجنين.

(١) ظل سلتون باقيا في كمبردج بعد أن غادرها برينر لأمريكا، وسلتون فرد آخر من الثالوث الذى نال جائزة نوبل عن الأبحاث على "سينورهابديتيس". هذا وقد واصل سلتون أبحاثه الأخرى التى قاد فيها الطرف البريطانى في المشروع الرسمى للجينوم البشرى، أما الطرف الأمريكى فقاده أولا جيمس واطسون وبعدها فرنسيس كولنز.

وكمثل فإن Ca و Cp هما الخليتان الابنتان للخلية الأمومية C، وهما الابنة الأمامية، anterior، والخلفية، posterior حسب الترتيب. دعنا نلاحظ أن كل خلية ليس لها أكثر من ابنتين (قد تموت واحدة منهما). أنا الآن أنظر إلى خلية جسد عضلية معينة، اسمها Capppv، وهو اسم يكشف بإيجاز بارع عن تاريخها. الخلية C لها ابنة أمامية، anterior، وهذه لها ابنة خلفية، posterior، التى لها ابنة خلفية posterior، لها أيضا ابنة خلفية، posterior، والأخيرة لها ابنة بطنية، ventral هي خلية الجسد العضلية موضوع البحث. كل خلية في الجسم يرمز لها بسلسلة مشابهة من الحروف على رأسها إحدى الخلايا الست التأسيسية. وكمثل آخر فإن الخلية ABprpapppap، هي خلية عصبية موقعها في الحبل العصبى البطنى الذى يجرى بطول الدودة . لاحاجة للقول بأنه من غير الضرورى أن ندخل في التفاصيل. النقطة الرائعة هي أن كل خلية في الجسم لها اسم كهذا، يصف كليا تاريخها أثناء الإمبريولوجيا. كل واحد من الانقسامات العشرة التى نشأت عنها خلية ABprpapppap، هي وأى خلية أخرى، هو انقسام لاسمترى فيه الإمكان لبدء تشغيل جينات مختلفة في كل من الخليتين الابنتين. هذا هو المبدأ الذى تتمايز به الأنسجة في كل الحيوانات، حتى وإن كانت كل خلاياها تحوى الجينات نفسها. معظم الحيوانات لديها بالطبع خلايا أكثر من ال ٥٥٨ خلية لدى "سينورهابديتيس"، وتناميها الجنينى يتحدد في معظم الحالات بدرجة أقل من الصرامة. وبوجه خاص، كما تفضل سير جون سلستون بأن يذكرنى، وكما سبق لى أن ذكرت بإيجاز، نجد في الحيوان الثديى أن "الأشجار العائلية " لخلايانا تختلف في كل فرد، في حين أنها في "سينور هابديتيس" تكون متطابقة تقريبا (إلا في الأفراد الطافرين). ومع ذلك يظل المبدأ هو نفسه. في أى حيوان، تختلف الخلايا إحداها عن الأخرى في أجزاء الجسم المختلفة، حتى وإن كانت كلها جينيا متماثلة، وذلك بسبب تاريخها من الانقسام اللاسمترى للخلية أثناء الزمن القصير لسياق التنامى الجنينى.

هيا نستمع للاستنتاج النهائى لهذا الأمر كله. لا توجد خطة شاملة للتنامى، ولا توجد طبعة تصميم زرقاء، ولا توجد خطة لمهندس معمارى، ولا يوجد مهندس معمارى. تنامى الجنين، وفى النهاية تنامى البالغ، يتم إنجازهما بقواعد موضعية تنفذها الخلايا، وهى تتفاعل مع الخلايا الأخرى على أساس موضعى. وبالمثل، فإن ما يجرى داخل الخلية محكوم بقواعد موضعية تطبق على الجزيئات، خاصة جزيئات البروتين، داخل الخلايا وفى أغشية الخلايا، وهى جزيئات تتفاعل مع الجزيئات الأخرى من هذا النوع. مرة أخرى فإن القواعد كلها موضعية، وموضعية، وموضعية. لا أحد ممن يقرأون تتابع الحروف في دنا إحدى البويضات المخصبة، سيتمكن من أن يتنبأ بشكل الحيوان الذى سوف تتنامى إليه. الطريقة الوحيدة لاكتشاف ذلك هي أن ننمى البويضة بالطريقة الطبيعية، ونرى ما الذى ستتحول إليه. لا يستطيع أى كمبيوتر إلكترونى أن يستنتج ذلك، إلا إذا بُرمج ليحاكى العملية البيولوجية الطبيعية نفسها، وفى هذه الحالة نستطيع أن نستغنى كذلك عن النسخة الإلكترونية وأن نستخدم الجنين المتنامى على أنه الكمبيوتر الخاص بنفسه. هذه الطريقة لتوليد بنى كبيرة ومعقدة بالتنفيذ الخالص لقواعد موضعية لهى طريقة تتميز تماما عن طريقة طبعة التصميم الزرقاء في أداء الأشياء. لو كان دنا بعض نوع من تصميم طبعة زرقاء خطية، سيكون من الممارسات التافهة نسبيا أن نبرمج الكمبيوتر ليقرأ الحروف ويرسم الحيوان. ولكن لن يكون من السهل مطلقا عندها – بل ربما يكون من المستحيل – أن يحدث في المقام الأول أى تطور للحيوان.

والآن ينبغى ألا ينتهى هذا الفصل عن الأجنة كمجرد استطراد في كتاب عن التطور، ولذلك لا بد من أن أعود إلى المشكلة الأصلية للسيدة التى ألقت سؤالها على هالدين. باعتبار أن الجينات تتحكم في عمليات التنامى الجنينى بأولى من أن تتحكم في شكل الحيوان البالغ؛ وباعتبار أن الانتخاب الطبيعى كمبدع لا يبنى

أجنحة ضئيلة الحجم، وإنما تفعل ذلك الإمبريولوجيا؛ باعتبار هذا كله كيف يقوم الانتخاب الطبيعى بالعمل على الحيوانات لتشكيل أجسادها وسلوكها ؟ كيف يقوم الانتخاب الطبيعى بالعمل على الأجنة، أو بكلمات أخرى كيف يعيد هزهزتها بحيث تصبح دائمًا أكثر براعة في بناء أجسام ناجحة، لها أجنحة، أو زعانف، أو أوراق، أو صفائح تدريع، أو حمة لدغ، أو مجسات استشعار أو أى مما يلزم لبقاءها ؟

الانتخاب الطبيعى هو البقاء المتمايز للجينات الناجحة في المستودعات الجينية، بدلا من بقاء بدائلها من الجينات الأقل نجاحا. الانتخاب الطبيعى لا يختار الجينات مباشرة. وهو بدلا من ذلك يختار مفوضيها أو وكلاءها، الأجساد الفردية؛ وهذه الأفراد يتم اختيارها –بطريقة واضحة وأوتوماتيكية ومن غير تدخل متعمد– فتُختار حسب ما إذا كانت ستظل باقية لتكاثر من نسخ يكون لها بالضبط الجينات نفسها. بقاء الجين يرتبط وثيقا ببقاء الأجساد التى يساعد هو على بنائها؛ وذلك لأنه يركب في داخل هذه الأجساد ويموت معها. أى جين معين يمكن له أن يتوقع أن يجد نفسه وهو يمتطى عددا كبيرا من الأجساد، ويحدث ذلك على نحو متزامن في عشيرة من المعاصرين، كما يحدث أيضا بالتتابع إذ يتلو أحد الأجيال الجيل الآخر. وإذن فمن الوجهة الإحصائية، فإن الجين الذى ينحو في المتوسط لأن يكون له تأثير جيد من حيث توقعات بقاء الأجساد التى يجد نفسه فيها، سوف ينحو إلى أن يزيد تكراره في المستودع الجينى. وبالتالى، سنجد في المتوسط، أن الجينات التى نقابلها في أحد المستودعات الجينية سوف تنحو لأن تكون الجينات الجيدة في بناء الأجساد. هذا الفصل يدور هكذا حول الإجراءات التى تبنى بها الجينات الأجساد.

السيدة التى حاورت هالدين تجد أن من غير المعقول أن يكون الانتخاب الطبيعى قادرا على أن ينظم، خلال بليون سنة مثلا، وصفة جينية لبناء هذه السيدة. وأنا أجد أن هذا معقول، وإن كان لا يمكن لى بالطبع أنا أو أى واحد آخر أن نخبرك بتفاصيل طريقة حدوث ذلك. السبب في أن هذا أمر معقول هو بالضبط أن

هذا كله يتم فعله بقواعد موضعية. في أى فعل واحد للانتخاب الطبيعى، فإن الطفر الذى يتم انتخابه - بالتوازى في كثير من الخلايا وفى كثير من الأفراد - يكون له تأثير "بسيط " جدا في الشكل الذى تلتف به تلقائيا سلسلة أحد البروتينات. وهذه بدورها، عن طريق فعل حافز، تزيد مثلا من سرعة تفاعل كيميائى معين في كل الخلايا التى يتم فيها تشغيل الجين. يؤدى هذا إلى أنه ربما يحدث تغير في سرعة نمو الفك البدائى الجنينى. وهذا له تأثيرات متعاقبة على شكل الوجه كله، ربما بأن يقلل من طول الخطم ويعطى بروفيلا أكثر آدمية وأقل "شبها بالقردة العليا". والآن فإن ضغوط الانتخاب الطبيعى التى تحبذ أو لا تحبذ الجين يمكن أن تكون أمرا معقدا بأى حال تشاء. فهى ربما تشمل الانتخاب الجنسى، ربما من حيث الاختيار الجمالى الراقى لمن سيكونون شركاء الجنس. أو أن تغيير شكل الفك قد يكون له تأثير رهيف في قدرة الحيوان على كسر الجوز، أو قدرته على القتال مع منافسيه. هناك بعض توليف بارع إلى حد هائل بين ضغوط الانتخاب، التى تتصارع وتتصالح أحدها مع الآخر في تعقد مذهل، ويستطيع هذا التوليف أن يؤثر في النجاح الإحصائى لهذا الجين المعين، وهو يكاثر من نفسه خلال المستودع الجينى. إلا أن الجين لا يدرى شيئا من هذا. وكل ما يفعله في الأجساد المختلفة وفى الأجيال المتعاقبة، أنه يعيد هزهزة انبعاج نُحت بعناية في جزىء بروتين. باقى القصة يتلو ذلك أوتوماتيكيا، في سلاسل متفرعة من النتائج الموضعية، وينبثق منها في النهاية جسد بأكمله.

هناك حتى ما هو أكثر تعقيدا من الضغوط الانتخابية في البيئات الإيكولوجية(*)، والجنسية، والاجتماعية للحيوانات، وهو شبكة التأثيرات المجتمعة المتعاقبة التى تجرى داخل وبين الخلايا المتنامية: تأثيرات من الجينات في البروتينات، والجينات في الجينات، وتأثير البروتينات في تعبير الجينات، وتأثير البروتينات في البروتينات؛

(*) الإيكولوجيا فرع من علم الأحياء يبحث العلاقات بين الكائنات الحية وبيئتها. (المترجم)

وهناك الأغشية، والممالات الكيميائية، وقضبان الإرشاد الفيزيائى والكيميائى في الأجنة، الهرمونات وغيرها من وسائط الفعل عن بعد، والخلايا ذات البطاقات المعنونة التى تبحث عن الخلايا الأخرى ذات البطاقات المماثلة أو المكملة. لا أحد يفهم الصورة كلها، ولا أحد يحتاج لأن يفهمها حتى يتقبل المعقولية الشديدة للانتخاب الطبيعى. الانتخاب الطبيعى يحبذ استمرار بقاء الطفرات الجينية المسئولة عن صنع تغيرات حاسمة في الجنين، لتظل باقية في المستودع الجينى. تنبثق الصورة كلها كنتيجة تترتب على مئات الآلاف من التفاعلات الصغيرة الموضعية، كل منها يمكن من حيث المبدأ أن يفهمه أى شخص لديه الصبر الكافى لتفحصه (على الرغم من أنه قد يكون عمليا أصعب من أن يتم الكشف عنه أو أن ذلك قد يستغرق زمنا أكثر من اللازم). الأمر كله قد يكون من الوجهة العملية محيرا وغامضا، ولكن لا يوجد أى غموض من حيث المبدأ، لا في الإمبريولوجيا نفسها، ولا في تاريخ التطور الذى يحدث عن طريقه أن تصل الجينات الحاكمة إلى أن تبرز في المستودع الجينى. تتجمع عوامل التعقد تدريجيا عبر الزمان التطورى: كل خطوة تكون فحسب مختلفة اختلافا ضئيلا عن الخطوة السابقة، وكل خطوة يتم إنجازها بتغير صغير رهيف في قاعدة موضعية موجودة من قبل. عندما يصبح لدينا عدد كاف من الكائنات الصغيرة – الخلايا، وجزيئات البروتين، والأغشية – وكل منها يذعن في مستواه الخاص لقواعد موضعية كما أنه يؤثر في الآخرين – عندها تكون النتيجة النهائية شيئا دراميا. إذا ظلت الجينات باقية أو فشلت في البقاء، كنتيجة لتأثيرها في هذه الكيانات الموضعية وفى سلوكها، سيتبع ذلك حتما الانتخاب الطبيعى للجينات الناجحة – مع انبثاق منتجاتها الناجحة. السيدة التى سألت هالدين كانت على خطأ. ليس من الصعب، من حيث المبدأ، صنع شىء يماثلها.

وكما قال هالدين، الأمر يستغرق تسعة شهور فقط.

الفصل التاسع

فُلك القارات

هيا نتخيل عالما بلا جزر

كثيرا ما يستخدم البيولوجيون كلمة "جزيرة" لتعنى شيئا آخر غير مجرد قطعة أرض محاطة بالماء. من وجهة نظر سمكة الماء العذب، تكون البحيرة جزيرة: جزيرة من ماء صالح كمأوى محاط بأرض لا تصلح كمأوى. من وجهة نظر خنفساء جبال الألب، التى لا تستطيع أن تزدهر في حياتها عند موضع يقل عن ارتفاع معين، فإن كل قمة عالية تكون جزيرة، تتخللها وديان يكاد يستحيل عبورها. هناك ديدان خيطية بالغة الصغر (على صلة قرابة "بالسينورهابديتيس" الأنيقة) تعيش داخل أوراق الشجر (بمعدل من ١٠٠٠٠ دودة منها في الورقة الواحدة التى أصيبت بعدواها إلى درجة خطيرة)، وتغوص الديدان في الورق خلال ثغورها، تلك الثقوب الميكروسكوبية التى تدخل الأوراق من خلالها ثانى أكسيد الكربون وتطلق الأوكسجين. بالنسبة للدودة الخيطية التى تقطن في الأوراق مثل دودة "أفيلنكويدس، *Aphelencoides* " فإن ورقة واحدة من نبات قفاز الثعلب تكون جزيرة. بالنسبة لحشرة من القمل فإن رأس الإنسان الواحدة أو منطقة العانة قد تكون جزيرة. لا بد وأن هناك الكثير من الحيوانات والنباتات التى تعتبر أن الواحة في الصحراء هي جزيرة من مكان رطب أخضر صالح للسكنى، محاطة ببحر معاد من الرمال. وما دمنا هكذا نعيد تعريف الكلمات من وجهة نظر الحيوان، وحيث أن الأرخبيل هو سلسلة أو تجمع من الجزر فإنى أفترض أن سمكة الماء العذب قد تعرّف الأرخبيل بأنه سلسلة أو تجمع من البحيرات، مثل تلك البحيرات الموجودة بطول وادى الصدع الأعظم في أفريقيا. حيوان المرموط القارض في الجبال العالية قد يعرّف سلسلة من القمم الجبلية التى تفصلها الوديان بأنها أرخبيل. الحشرة التى تغوص في أوراق الشجر قد تعتبر أن طريقا مشجرا

هو أرخبيل. ذبابة النبر التى تتطفل يرقاتها على تجاويف الثدييات قد تعتبر أن قطيعا من الماشية هو أرخبيل متحرك.

بعد أن أعدنا تعريف كلمة "الجزيرة" هكذا (السبت قد جُعل للإنسان، ولم يُجعل الإنسان للسبت)، دعنى أعود لكلمتى الافتتاحية. هيا نتخيل عالما بلا جزر.

لقد أحضر خريطة كبيرة تمثل البحر

ليس فيها أدنى أثر للأرض:

وابتهج البحارة كل الابتهاج عندما وجدوا

أنها خريطة يستطيعون كلهم فهمها.

لن نذهب بعيدا بالأمر مثلما يفعل المنادون، ولكن دعنا نتخيل لو أن الأرض كلها جمعت معا في قارة واحدة هائلة وسط بحر بلا ملامح. لا توجد جزر إزاء الساحل، ولا بحيرات ولا سلاسل جبال فوق الأرض، لا يوجد شيء يكسر الاتساق السلس الذى يكتسح برتابة كل شيء. يستطيع أى حيوان في هذا العالم أن ينتقل بسهولة من أى مكان للآخر، ولا يحدّه في ذلك إلا مجرد المسافة، ولا تزعجه أى حواجز معادية. هذا عالم غير موات للتطور. ستكون الحياة على كوكب الأرض مملة لأقصى حد إذا لم يكن هناك وجود لأى جزر، وأود أن أبدأ هذا الفصل بتفسير السبب في ذلك.

كيف تولَد الأنواع الجديدة

كل نوع هو ابن عم لكل نوع آخر. ينحدر أى نوعين من نوع من الأسلاف، ينقسم إلى اثنين. وكمثل لذلك فإن السلف المشترك للبشر وطائر ببغاء الطيب

الأسترالى كان يعيش منذ ما يقرب من ٣١٠ مليون سنة. انقسم النوع السلف إلى اثنين واتجه خطا السلالتين إلى طرق منفصلة طول سائر الزمن. اخترت البشر وببغاء الطيب ليكون الأمر مفعما بالحيوية، إلا أن هذا النوع من السلف نفسه تتشارك فيه كل الثدييات عند أحد جانبى ذلك الانقسام المبكر، وكل الزواحف عند الجانب الآخر (الطيور من وجهة نظر علم الحيوان هي من الزواحف، كما رأينا في الفصل السادس). إذا وجدنا بأى حال حفرية لهذا النوع السلف، وهذا حدث غير مرجح، ستحتاج هذه الحفرية إلى اسم يطلق عليها. دعنا نسميها "بروتامنيو داروينياى، *Protamnio darwinii*". نحن لا نعرف أى تفاصيل عنها، وهذه التفاصيل لا أهمية لها مطلقا من حيث محاجتنا، ولكننا لن نخطئ إلى حد بعيد إذا تخيلنا أنها حفرية لكائن يشبه السحلية يزحف منتشرا هنا وهناك وهو يهرع للإمساك بالحشرات. والآن هاكم النقطة المهمة هنا. عندما تنقسم "البروتامنيو داروينياى" إلى عشيرتين فرعيتين ستبدو كل منهما مشابهة تماما للأخرى، ويستطيع أفرادهما أن يستمتعوا بالتناسل فيما بين العشيرتين أحدهما مع الآخر؛ إلا أن أحد الفرعين تحدد مصيره بأن تنشأ عنه الثدييات، والآخر تحدد مصيره بأن تنشأ عنه الطيور (وكذلك الديناصورات والثعابين والتماسيح). هاتان العشيرتان الفرعيتان "للبروتامنيو داروينياى" كانتا على وشك أن تتباعد إحداهما عن الأخرى، عبر فترة زمنية طويلة جدا وعلى نحو كبير جدا. ولكنهما لن تستطيعا أن تتباعدا إذا بقيتا وأفرادهما تتناسل فيما بينهما أحدها مع الآخر. سيواصل كلا المستودعين الجينيين أن يغمر أحدهما الآخر بالجينات. وبالتالى فإن أى نزعة للتباعد ستكبح بشدة في أول بداياتها قبل أن تتمكن إحدى العشيرتين من الانطلاق بعيدا، وذلك لأنها هكذا يغمرها تدفق الجينات من العشيرة الفرعية الأخرى.

لا أحد يعرف ما حدث بالفعل عند هذا المفترق الملحمى للطرق. لقد حدث ذلك منذ زمن بعيد جدا، وليس لدينا أى فكرة عن مكان وقوعه. إلا أن النظرية

التطورية الحديثة ستعيد بثقة بناء بعض شيء يماثل التاريخ التالى. يحدث للعشيرتين الفرعيتين "للبروتامنيو داروينياى" أنهما تنفصلان بطريقة ما إحداهما عن الأخرى، ويكون أرجح سبب لذلك هو وجود حاجز جغرافى مثل شريط من البحر يفصل جزيرتين، أو يفصل جزيرة عن البر الرئيسى. يمكن أن يكون ذلك سلسلة جبلية تفصل بين واديين، أو نهرا يفصل بين غابتين: أى "جزيرتين" بالمعنى العام كما عرّفته. كل ما يهم هنا هو أن العشيرتين قد عُزلتا إحداهما عنت الأخرى لزمن طويل كاف، بحيث لو حدث في النهاية أن أدى الزمان والصدف إلى إعادة اتحادهما، ستجد العشيرتان أنهما قد تباعدتا إلى حد بالغ بحيث أنهما لا يمكنهما بعد أن يتناسلا فيما بينهما. ما هو الزمن الذى يكون طويلا بما يكفى لذلك ؟ حسن، إذا تعرضت العشيرتان إلى ضغوط انتخابية قوية ومتعارضة، فإن هذا الزمن قد يقل إلى قرون معدودة، أو حتى إلى أقل من ذلك. وكمثل، فإن الجزيرة ربما ينقصها وجود مفترس نهم ممن يجوبون البر الرئيسى. أو ربما تتحول عشيرة الجزيرة من التغذية على الحشرات إلى الغذاء النباتى، مثل سحالى بحر الأدرياتيك في الفصل الخامس. مرة أخرى، نحن لا نستطيع أن نعرف تفاصيل طريقة إنقسام "البروتامنيو داروينياى"، ولا حاجة لنا بمعرفتها. هناك أدلة من الحيوانات الحديثة تعطينا كل الأسباب لأن نعتقد أن بعض شيء يشبه القصة التى رويتها في التو هو ما وقع في الماضى بالنسبة لكل حدث من أحداث التباعد بين السلف المشترك لأى حيوان مع الآخر.

حتى إذا كانت الظروف على جانبى الحاجز ظروفا متطابقة، فإن هناك مستودعين لجينات النوع نفسه مفصولان جغرافيا، وسوف ينجرفان في النهاية أحدهما بعيدا عن الاخر، وينفصلا إلى حد لا يستطيعا عنده أن يتناسلا فيما بينهما حتى لو حدث في النهاية أن أصبح الانعزال الجغرافى غير موجود. سوف تتراكم تدريجيا تغيرات عشوائية في مستودعى الجينات وتصل التغيرات هكذا إلى حد أنه

عندما يتلقى ذكر وأنثى من الجانبين، فإن جينوماتهما ستكون مختلفة اختلافا بالغا لدرجة أنهما لا يمكن أن يتحدا لصنع سليل خصب. سواء حدث ذلك عن طريق الانجراف العشوائي وحده، أو بمساعدة من التمايز بالانتخاب الطبيعي، فإنه بمجرد أن يصل مستودعا الجينات إلى النقطة التي لا يلزم بعد عندها وجود عازل جغرافي ليبقى المستودعان منفصلين وراثيا، فإننا نسميهما عند هذه النقطة بأنهما نوعان مختلفان. في حالتنا الافتراضية هذه، ربما تكون عشيرة الجزيرة قد تغيرت بأكثر من عشيرة البر الرئيسي، بسبب عدم وجود مفترسين والتحول إلى غذاء نباتي بأكثر. وبالتالي فإن عالِم الحيوان وقتذاك ربما يدرك أن عشيرة الجزيرة قد أصبحت نوعا جديدا ويعطيها اسما جديدا يكون مثلا "بروتامنيو سوروبس، *Protamnio saurops*"، في حين أن الاسم القديم، "بروتامنيو داروينياى " ربما يستمر صالحا للاستعمال بالنسبة لعشيرة البر الرئيسي. في هذا السيناريو الافتراضي، لعل عشيرة الجزيرة هي التي تحدد مصيرها بأن تنشأ عنها الزواحف "الصوروبسيدية، *Sauropsid*" (كل ما نسميه الآن بالزواحف مضافا إليها الطيور)، في حين أن عشيرة البر الرئيسي تنشأ عنها في النهاية الثدييات. مرة أخرى، لا بد لي من أن أؤكد على أن "التفاصيل" في قصتي الصغيرة هي محض خيال روائي. كان يمكن بما يساوي ذلك أن تكون عشيرة الجزيرة هي التي تنشأ عنها الثدييات. من الممكن أن تكون "الجزيرة إحدى الواحات المحاطة بالصحراء، بدلا من أن تكون أيضا محاطة بالماء. وليس لدينا بالطبع أدنى فكرة عن ذلك المكان فوق سطح الأرض الذي حدث عنده هذا الانقسام الكبير – بل في الحقيقة نجد أن خريطة العالم ربما كانت وقتها تبدو مختلفة للغاية، بحيث أن هذا السؤال لا يكاد يعني أي شيء. أما ما ليس بالخيال الروائي فهو الدرس الرئيسي من القصة وهو: معظم إن لم تكن كل الملايين من التباعدات التطورية التي حشدت الأرض بهذا التنوع الخصب قد بدأت بانفصال بالصدفة بين عشيرتين فرعيتين لأحد

الأنواع، كثيرا ما يكون، وإن لم يكن ذلك دائما، على جانبى حاجز جغرافى مثل بحر، أو نهر، أو سلسلة جبال، أو واد بالصحراء. يستخدم البيولوجيون كلمة "التنواع، Speciation" لانقسام أحد الأنواع إلى نوعين ابنين. سيقول لك معظم البيولوجيين أن الانعزال الجغرافى هو الاستهلال الطبيعى للتنواع، وإن كان بعضهم، وخاصة علماء الحشرات، قد يقطعون الحديث بإبداء تحفظ بأن "التنواع مع التداخل" جغرافيا يمكن أن يكون أيضا مهما. التنواع مع التداخل يتطلب أيضا بعض نوع من انفصال عارض في البدء حتى تأخذ العملية في الدوران، ولكنه انفصال يختلف عن الانفصال الجغرافى. من الممكن أن يكون ذلك بتغير محلى في المناخ المصغر أو الميكرو. لن أدخل هنا في التفاصيل، وإنما سأكتفى بأن أقول بأنه يبدو أن التنواع مع التداخل الجغرافى مهم بوجه خاص للحشرات. ومع ذلك فإننى بهدف التبسيط، سوف أفترض في باقى هذا الفصل أن الانفصال الأصلى الذى يسبق التنواع يكون طبيعيا انفصالا جغرافيا. لعل القارئ يتذكر أننى في الفصل الثانى عند معالجة سلالات الكلاب المدجنة، قد شبهت تأثير القواعد التى يفرضها المربون مستولدو الحيوانات المنسبة بأنها تماثل إيجاد "جزر افتراضية".

قد يتخيل المرء حقا...

كيف إذن تجد عشيرتان من أحد الأنواع أنهما على جانبين متقابلين من حاجز جغرافى ؟ أحيانا يكون الحاجز نفسه هو الذى استجد. يؤدى أحد الزلازل إلى فتح فالق لا يمكن عبوره، أو إلى تغير في مجرى أحد الأنهار، وإذا بالنوع الذى كان يتكون من عشيرة واحدة يتناسل أفرادها معا يجد نفسه وقد شطر إلى عشيرتين. المعتاد بأكثر، أن يكون الحاجز موجودا من قبل طول الوقت، وأن الحيوانات نفسها هي التى تعبره، في حدث نادر استثنائى. ينبغى أن يكون هذا

الحدث نادرا وإلا فإن الحاجز لن يستحق مطلقا أن يسمى بأنه حاجز. قبل ٤ أكتوبر ١٩٩٥، لم يكن هناك أى أعضاء من نوع " إجوانا إجوانا، *Iguana iguana*" فوق جزيرة أنجويلا الكاريبية. حدث في ذلك التاريخ أن عشيرة من هذه السحالى الضخمة ظهرت فجأة في الجانب الشرقى من الجزيرة. لحسن الحظ أنها رؤيت فعلا وهى تصل إلى الجزيرة. كانت تتشبث بحصيرة من خشب منجرف وأشجار مقتلعة من جذورها، وبعضها طوله يزيد عن ثلاثين قدما، وقد انجرفت من جزيرة مجاورة، ربما تكون جزيرة جوادلوب على بعد ١٦٠ ميلا. كان قد حدث في الشهر السابق إعصاران، أحدهما هو لويس في ٤-٥ سبتمبر، والآخر هو ماريلين بعد ذلك بأسبوعين، وقد اندفع كلاهما عبر المنطقة وتمكنا بسهولة من اقتلاع الأشجار بأكملها من جذورها، ومعها سحالى الإجوانا، التى اعتادت أن تمضى الوقت فوق الأشجار. ظلت العشيرة الجديدة تواصل وجـودها بقـوة في ١٩٩٨، وأخبـرتنى د. إيلين سينسكى التى كانت تقود الدراسة الأصلية أن هذه السحالى لا تزال تعيش مزدهرة حتى هذا اليوم، وبدت حتى أكثر ازدهارا عن نوع آخر من الإجوانا كان يعيش فوق أنجويلا قبل وصول الغزاة الجدد.

النقطة المهمة بشأن هذه الأحداث من الانتشار النزوى هي أنها أحداث لا بد وأن تكون شائعة بما يكفى لأن تفسر التنواع، ولكنها لا تكون بالغة الشيوع أكثر مما ينبغى. لو كانت هذه الأحداث شائعة بأكثر مما ينبغى - كأن تنجرف مثلا سحالى الإجوانا من جوادلوب إلى أنجويلا سنويا - فإن العشيرة التى تبدأ في التنواع في أنجويلا ستعانى باستمرار من إغراقها بتيار الجينات الوافدة، وبالتالى فإنها لن تستطيع أن تتباعد عن عشيرة جوادلوب. فيما يعرض، أرجو من القارئ ألا ينخدع باستخدامى لعبارة من نوع "لا بد وأن تكون شائعة بما يكفى". فمن الممكن أن يساء فهم هذه العبارة على أنها تعنى أن هناك خطوات من بعض نوع قد تم اتخاذها لضمان أن تكون هذه الجزر متباعدة بالمسافة المناسبة بالضبط

لتسهيل التنواع ! هذا بالطبع يماثل أن نضع العربة أمام الحصان. بدلا من ذلك فإن الأمر هو أنه أينما تصادف وجود جزر (جزر بالمعنى الواسع دائما) تتباعد بمسافة ملائمة لأن تسهل التنواع، فإن التنواع سيحدث فيها. والمسافة الملائمة ستعتمد على مدى سهولة أن تنتقل إليها الحيوانات موضع الاهتمام. تبعد جوادلوب عن أنجويلا بمسافة من ١٦٠ ميلا وهى مسافة تعد كنوع من لعب الأطفال لأى طير محلق قوى مثل طائر النوء (Petrel)، إلا أن عبور البحر حتى ولو لمئات معدودة من الياردات قد يكون أصعب من أن يؤدى لولادة نوع جديد من الضفادع مثلا أو من حشرات بلا أجنحة.

ينفصل أرخبيل جالاباجوس عن البر الرئيسى لأمريكا الجنوبية بما يقرب من ٦٠٠ ميل من المياه المفتوحة، وهذا يصل تقريبا إلى أربعة أمثال المسافة التى أبحرتها سحالى الإجوانا فوق طوفها من الأشجار المقتلعة لتصل إلى أنجويلا. هذه الجزر كلها بركانية، وصغيرة السن بالمعايير الجيولوجية. لم تكن أى جزيرة منها متصلة قط بأى بر رئيسي. حيوانات ونباتات منطقة الجزر لا بد وأنها كلها قد انتقلت إليها، فيما يفترض، من البر الرئيسي لأمريكا الجنوبية. على الرغم من أن الطيور الصغيرة تستطيع أن تطير مسافة ٦٠٠ ميل، إلا أن مسافة ٦٠٠ من الأميال تكفى لأن تجعل عبورها بواسطة عصافير الحسون (Finches) حدثا نادرا جدا. على أن ندرته ليست بدرجة أنه لا يمكن أن يحدث بالمرة، فهناك عصافير حسون في جالا باجوس، يفترض أن أسلافها عند نقطة ما في التاريخ قد نفث بها عبر هذه المسافة ربما بواسطة عاصفة عجيبة. عصافير الحسون هذه كلها لها نمط جنوب أمريكى يسهل إدراكه، على الرغم من أن هذه الأنواع نفسها تُعد أنواعا فريدة تتفرد بها جزر جالاباجوس. هيا ننظر إلى خريطة داروين التى اخترتها لأسباب عاطفية ولأنه يستخدم فيها أسماء للجزر لها رنين فخيم من تسمية البحرية لها بالإنجليزية بدلا من الأسماء الأسبانية الحديثة. دعنا نلاحظ



خريطة داروين لجزر جالاباجوس بأسماء إنجليزية

نادرا ما تستخدم الآن

أن مقياس الرسم بنسبة ٦٠ ميلا يقرب من عُشر المسافة التى يجب أن يقطعها الحيوان ليصل في المقام الأول من البر الرئيسى إلى الأرخبيل. الجزر نفسها تبعد إحداها عن الأخرى بعشرات الأميال لا غير، ولكنها تبعد بمئات الأميال عن البر الرئيسي. يالها من وصفة رائعة للتنواع. سيكون من المبالغة في التبسيط أن نقول أن احتمال أن يحدث بالصدفة أن يُنفث حيوان بالرياح أو أن يُنقل بطوف عبر حاجز بحرى ليصل إلى إحدى الجزر، فإن هذا الحدث يتناسب عكسيا مع

مسافة عرض الحاجز. ومع ذلك فإن من الواضح وجود بعض نوع من علاقة عكسية بين المسافة واحتمال عبورها. هناك فارق كبير بين متوسط المسافة بين الجزر الذى يُقدر بعشرات قليلة من الأميال، وبين المسافة إلى البر الرئيسي التى تقدر بستمائة ميل، وهذا الفارق يبلغ من كبره أننا سنتوقع أن يكون الأرخبيل بمثابة محطة توليد القوى للتنواع. هذا هو ما كان عليه الأمر فعلا، كما أدرك داروين في النهاية، وإن لم يدركه إلا بعد أن غادر الجزر. ولم يعد لها قط.

هناك تفاوت، بين مسافة من عشرات الأميال فيما بين الجزر في داخل الأرخبيل، ومسافة من مئات الأميال بين الأرخبيل ككل والبر الرئيسي، وهذا التفاوت في المسافات هو الذى يؤدى بعالِم التطور إلى أن يتوقع أن الجزر المختلفة ربما تأوى لها أنواع تتشابه إلى حد كبير أحدها مع الآخر، ولكنها أكثر اختلافا عن نظرائها في البر الرئيسي. وهذا بالضبط هو ما نجده بالفعل. وقد أوضح داروين نفسه هذا الأمر جيدا، وقد كاد يقترب اقترابا وثيقا من لغة التطور حتى قبل أن يكمل صياغة أفكاره الصياغة الصحيحة الملائمة، وقد سجلتُ الفقرة المفتاحية عن ذلك بخط مائل للتأكيد عليها وسوف أكررها في هذا الفصل في سياقات مختلفة:

> **عندما يرى المرء هذا التدرج والتنوع في البنية في مجموعة واحدة صغيرة من طيور وثيقة العلاقة، فإن المرء قد يتخيل حقا أنه كانت توجد أصلا قلة من طيور نادرة في هذا الأرخبيل، أُخذ منها نوع واحد وأُحدث فيه تعديل ليصل إلى نهايات مختلفة.**

وبطريقة مماثلة من الممكن أن تتخيل أن طائرا هو في الأصل صقر حوّام (buzzard)، قد استُحث هنا لأن يتخذ مهمة طائر "البوليبورى، Polybori" في القارة الأمريكية الذى يتغذى على الجيف.

الجملة الأخيرة تشير إلى صقر جالاباجوس المسمى "بوتيو جالابوجنسيس، *Buteo galapagoensis* "، وهو نوع آخر مما لا يوجد إلا في جالاباجوس، ولكنه يشبه بعض الشبه أنواعا أخرى في البر الرئيسي، خاصة "بوتيو سوينسونى، *Buteo swainsoni*"، الذى يهاجر سنويا بين أمريكا الشمالية والجنوبية، ومن الممكن أن يكون قد نفث بعيدا عن طريقه في بعض مناسبة أو مناسبتين من ظروف استثنائية غريبة. ينبغى علينا الآن أن نشير إلى صقر جالاباجوس والى الغاق الذى لا يطير على أنها "متوطنة" في هذه الجزر، بمعنى أن هذا هو المكان الوحيد الذى توجد فيه. داروين نفسه، وقد كان وقتذاك لم يعتنق مبدأ التطور اعتناقا كاملا، استخدم في وصفها عبارة جارية وقتها هي "المخلوقات المحلية أصلا" بمعنى أنها خلقت هنا فقط وليس في أى مكان آخر. واستخدم العبارة نفسها لوصف السلاحف البرية الضخمة التى كانت تغزر وقتها فوق كل الجزر، وكذلك لوصف نوعين من السحالى، سحالى جالاباجوس البرية وسحالى جالاباجوس البحرية. السحالى البحرية هي حقا كائنات تلفت النظر، وتختلف تماما عن أى شىء نراه في أى مكان آخر من العالم. تغوص هذه السحالى إلى قاع البحر وترعى على أعشاب البحر، ويبدو أن هذا هو طعامها الوحيد. وهى تسبح برشاقة، وإن لم يكن فيها حسب رأى داروين الصريح أى جمال يُنظر:

> **أنها لكائن بشع في شكله، ولها لون أسود بقذارة، وهى غبية[1] وبطيئة في حركاتها. يبلغ طولها عادة عند اكتمال نموها ما يقرب من الياردة، على أن بعضها يصل**

---

(١) كتاب "رحلة البيجل". علماء التاريخ الطبيعى في العهد الفكتورى كانوا متعودين على إصدار أحكام قيمية من هذا النوع في كتبهم. كان جداى يمتلكان كتابا عن الطيور فيه مدخل عن الغاق يبدأ بوضوح بالقول بأنه " لا يوجد شىء يقال عن هذا الطائر البائس".

طوله حتى إلى أربعة أقدام... وذيولها مفلطحة من الجانبين، وكل أقدامها الأربع مكففة جزئيا بجليدات أو بوترات بين الأصابع... عندما تكون هذه السحلية في الماء فإنها تسبح بأكمل سهولة وسرعة، بواسطة حركات، جسدها وذيلها المفلطح متعرجة كالثعبان – بينما السيقان بلا حراك وقد انطوت وثيقا على الجانبين.

لما كانت السحالى البحرية بارعة جدا في السباحة، فإن هناك مجال لأن يُفترض أنها هي، وليست السحالى الأرضية، التى عبرت المسافة الطويلة من البر الرئيسي ثم تلى ذلك تنواعها في الأرخبيل، لتنشأ عنها السحالى الأرضية. على أن من المؤكد تقريبا أن الحال لم يكن هكـــذا. السحــــلية الأرضية فـــي جـــالاباجوس لا تختلف اختلافا كبيرًا عن السحالى التى ما زالت تعيش فوق البر الرئيسي، في حين أن السحالى البحرية تنتمى لنوع ينفرد به أرخبيل جالاباجوس. لا توجد أى سحلية في أى جزء آخر من العالم لها نفس عادات السلوك البحرية مثلها. نحن الآن واثقون من أن السحلية الأرضية قد وصلت أصلا من البر الرئيسي في أمريكا الجنوبية، وربما تكون قد انتقلت فوق طوف من الخشب مثل سحالى جوادلوب الحديثة التى نفثت إلى أنجويلا. وهى فيما تلى ذلك حدث لها تنواعها لتنشأ عنها السحالى البحرية. ويكاد يكون من المؤكد أن الانعزال الجغرافى الذى يتيحه نمط تباعد الجزر هو الذى جعل من الممكن وجود الانفصال الأول بين السلف من السحالى الأرضية وبين السحالى البحرية التى أخذت في التنواع حديثا. فيما يفترض فإن بعض السحالى الأرضية قد انتقلت عرضا عن طريق طوف لتعبر إلى جزيرة كانت قبلذاك خالية من السحالى، وهناك اتخذت هذه السحالى عادات سلوك بحرى، وهى تخلو من أى تلوث من جينات تنساب إليها من السحالى البرية فوق

الجزيرة الأصلية. حدث متأخرا بعد وقت طويل، أن انتشرت هذه السحالى إلى جزر أخرى، لتعود في النهاية إلى الجزيرة التى كانت الأسلاف البرية لهذه السحالى قد تركتها أصلا. حاليا لن تستطيع بعد أفراد هذه السحالى البحرية أن تتناسل فيما بينها وبين السحالى البرية، وتظل عادات سلوكها البحرية الموروثة جينيا سالمة من أى تلوث بجينات السحالى البرية.

هكذا لاحظ داروين الشيء نفسه في مثل بعد الآخر. حيوانات ونباتات كل جزيرة في جالاباجوس كلها إلى حد كبير كائنات متوطنة بيئيا في الأرخبيل (كائنات محلية أصلا، oboriginal)، إلا أنها أيضا في معظمها تتفرد في التفاصيل من جزيرة للأخرى. تأثر داروين بالنباتات بوجه خاص فيما يتعلق بهذا الأمر:

> **وبالتالى فإن لدينا حقيقة رائعة حقا، وهى أننا نجد في جزيرة "جيمس" وحدها [سانتياجو] أنه من بين ثمانية وثلاثين نباتا في جالاباجوس، وهى نباتات لا توجد في أى جزء آخر من العالم، يوجد من بينها ثلاثون يقتصر وجودها حصريا على هذه الجزيرة الواحدة؛ ونجد في جزيرة "ألبيمارل" [إيزابلا]، أنه من بين ستة وعشرين نباتا محلية أصلا في جالاباجوس، هناك اثنان وعشرون يقتصر وجودها على هذه الجزيرة الواحدة، بمعنى أنه حاليا ليس غير أربعة فقط من هذه النباتات يعرف عنها أنها تنمو في الجزر الأخرى من الأرخبيل، وهلم جرا... فيما يتعلق أيضا بالنباتات في جزيرة "تشاثام" [سان كريستوبال] و جزيرة "تشارفز" [فلورينا].**

لاحظ داروين الشيء نفسه فيما يتعلق بتوزيع الطائر المحاكى(*) عبر الجزر.

في أول الأمر ثار انتباهى تماما عندما قارنت معا العينات العديدة التى اصطدتها أنا والعديد من الأفراد الآخرين على ظهر السفينة، عينات من الطائر المحاكى المغرد (mockingbird)، واكتشفت مذهولا أن كل العينات من جزيرة "تشارلز" تنتمى إلى نوع واحد ("ميموس تريفاشياتس، Mimus trifasciatus ")، وإن كل العينات من جزيرة، البيمارل تنتمى إلى نوع واحد هو "م. يارفولوس، M.parvulus"، وكل العينات من جزيرتى "جيمس" و"تريشاثام" تنتمى إلى "م. ميلانوتس، M.melanotis"، (تقع بين هاتين الجزيرتين جزيرتان أخريتان تعملان كرابطتين لوصلهما).

وإذن فالأمر هكذا، وفى العالم كله. مجموعة حيوانات ونباتات لمنطقة معينة تكون بالضبط كما ينبغى أن نتوقعه إذا كان الأمر، حسب الاستشهاد بما قاله داروين عن عصافير الحسون التى تحمل الآن اسمه، هو أنه قد "أُخذ نوع واحد وأُحدث فيه تعديل ليصل إلى نهايات مختلفة".

كان مستر لاوسون يعمل نائبا لحاكم جزر جالاباجوس، وقد حير داروين عندما أخبره بمعلومات عن أن:

السلاحف البرية تختلف في الجزر المختلفة، وأنه هو نفسه يستطيع على نحو أكيد أن يعرف من أى جزيرة قد أتت

(*) طائر مغرد بارع في محاكاة اصوات الطيور الأخرى. (المترجم).

أى منها. لم ألق انتباها كافيا لهذه الإفادة لبعض الوقت، وكنت من قبل قد خلطت معا جزئيا مجموعات من جزيرتين من الجزر. لم يدر بخلدى أبدا أن هذه الجزر مأهولة بسكان مختلفين، مــع أنهــا لا تنفصــل إلا بما يقرب من خمسين أو ستين ميلا، ومعظمها على مرمى البصر إحداها من الأخرى، وتتكون من الصخور نفسها بالضبط، وتقع تحت ظروف مناخية تتماثل إلى حد كبير.

كل السلاحف البرية الماردة في جالاباجوس تتشابه مع نوع معين من السلاحف البرية في البر الرئيسي، اسمه "جيوشيلون تشيلينسيس، *Geochelone chilensis*"، وهو أصغر من أى من هذه الأنواع الأخرى. حدث عند وقت معين أثناء الملايين القليلة التى وجدت فيها هــذه الجــزر، أن سلحفــاة بــريــة واحدة أو سلاحف برية قليلة من سلاحف البر الرئيسي قد سقطت عن غير قصد في البحر وعبرته طافية. كيف أمكنها أن تبقى حية في رحلة العبور هذه بزمنها الطويل وبما فيها من مشقة بالغة لا شك فيها ؟ من المؤكد أن معظمها لم يبق حيا. إلا أن إكمال تنفيذ التجربة لا يتطلب إلا أنثى واحدة لتقوم بها. كما أن السلاحف البرية مجهزة جيدا بما يذهل لأن تبقى حية في هذا العبور.

أخذ صيادو الحيتان الأوائل الآلاف من السلاحف البرية العملاقة من جزر جالاباجوس، أخذوها معهم في سفنهم لتكون طعاما لهم. حتى يظل لحم السلاحف طازجا لا يقتل الصيادون السلاحف إلا عندما يحتاجون لأكلها، ولكنهم لا يطعمونها ولا يزودونها بالماء في فترة الانتظار لذبحها. كانت السلاحف توضع ببساطة مقلوبة على ظهرها، وأحيانا تكدس فوق بعضها في طبقات عديدة بحيث لا تستطيع أن تنجو مبتعدة. وأنا أروى هذه القصة ليس بغرض إفزاع القارئ (وإن كان علىّ

هنا أن أقول أن هذه القسوة الهمجية تفزعنى شخصيا بالفعل)، وإنما أرويها بغرض إيضاح نقطة هامة. السلاحف البرية تستطيع أن تبقى حية لأسابيع دون طعام أو ماء طازج، ويكون هذا سهلا عليها طيلة زمن طويل طولا يكفى لأن تطفو في تيار "همبولدت" متجهة من أمريكا الجنوبية إلى أرخبيل جالاباجوس. هكذا فإن السلاحف البرية تطفو بالفعل.

بعد أن تصل السلاحف البرية إلى أول جزيرة من جزر جالا باجوس وتتكاثر فيها، فإنها تتمكن بسهولة نسبية – ومرة أخرى بغير تعمد – من أن تتواثب من جزيرة للأخرى في باقى الأرخبيل حيث المسافات أقصر كثيرا من رحلة العبور الأولى، وتستخدم في ذلك نفس وسائل رحلتها الأولى. وتفعل هذه السلاحف ما تفعله حيوانات كثيرة عند وصولها إلى إحدى الجزر: فهى تتطور لتصبح أكبر حجما. هذه الظاهرة من العملقة في الجزر ظاهرة قد لوحظت من زمن طويل (وهناك على نحو يثير البلبلة ظاهرة التقزم في الجزر[١] وهى ظاهرة معروفة جيدا بنفس الدرجة التى تعرف بها ظاهرة العملقة في الجزر). عندما تتبع هذه السلاحف البرية النمط نفسه مثل عصافير الحسون عند داروين، فإنها بهذا ستتطور بحيث يوجد نوع مختلف فوق كل جزيرة. ثم أنها مع ما يتلو ذلك من انجرافات عارضة من إحدى الجزر للأخرى، ستكون عاجزة على أن تتناسل فيما بينها (وهذا كما يتذكر القارئ هو تعريف النوع المنفصل) وستكون حرة في أن تطور طريقة حياة مختلفة لا تتلوث بأن تُغمر وراثيا بجينات أخرى.

---

(١) يبدو أن القاعدة فوق الجزر هي أن تغدو الحيوانات الكبيرة أصغر حجما (وكمثل كان هناك أقزام من الفيلة ترتفع بمثل ارتفاع كلب كبير في جزر البحر الأبيض المتوسط مثل صقلية وكريت) في حين أن الحيوانات الصغيرة تغدو أكبر حجما كما في سلاحف جالاباجوس البرية. توجد نظريات عديدة عن هذه النزعة للتباعد، إلا أن ذكر تفاصيلها سيأخذنا بعيدا عن مجالنا هنا بأكثر مما ينبغى .

في وسعنا أن نقول بأنه عندما يوجد في الأنواع المختلفة عدم توافق في عادات الجماع وإيثاراته المفضلة، فإن هذا يشكل نوعا من البديل الوراثى للانعزال الجغرافى للجزر المنفصلة. على الرغم من أن هذه الأنواع تتداخل جغرافيا، إلا أنها الآن تنعزل فوق "جزر" منفصلة من الخصوصية في الجماع: عصافير الحسون الأرضية الكبيرة والمتوسطة الحجم والصغيرة قد حدث لها أصلا تباعد فوق الجزر المختلفة؛ هذه الأنواع الثلاثة تتعايش الآن معا فوق معظم جزر جالاباجوس، ولكنها لا تتناسل أبدا فيما بينها ويتخصص كل نوع منها في صنف مختلف من بذور التغذية.

تفعل السلاحف البرية بعض شيء يماثل ذلك، فتطور في الجزر المختلفة أشكالا متميزة من صدفتها. أنواع السلاحف فوق الجزر الأكبر لديها قبة صدفة أعلى. سلاحف الجزر الصغرى لديها صدفة في شكل السرج لها في مقدمتها نافذة عالية للرأس. يبدو أن سبب ذلك هو أن الجزر الكبيرة مرطبة بالماء بما يكفى لنمو الحشائش، والسلاحف البرية هناك ترعى هذه الحشائش. الجزر الأصغر تكون غالبا جافة بما لا يسمح بنمو الحشائش، وتلجأ السلاحف البرية هكذا إلى أن ترعى نباتات الصبار. وجود الصدفة السرج بنافذتها العالية يتيح لرقبة السلحفاة أن تمتد عاليا لتصل إلى الصبار، والصبار بدوره ينمو إلى ارتفاع أعلى في نوع من سباق تسلح تطورى ضد السلاحف التى ترعاه.

قصة السلاحف البرية تضيف إلى نموذج عصافير الحسون الدورية تعقيدا يمضى لأبعد، ذلك أنه بالنسبة لهذه السلاحف تكون البراكين بمثابة جزر داخل الجزر. توفر البراكين واحات خضراء مرتفعة، ورطبة وباردة باعتدال، تحيط بها عند الارتفاعات المنخفضة حقول لافا جافة، تشكل صحارى معادية بالنسبة للسلاحف البرية العملاقة التى تتغذى بالرعى. يوجد في كل جزيرة صغرى بركان

كبير واحد، ونوعها الوحيد (أو نوعها الفرعى) من السلاحف البرية العملاقة (وذلك فيما عدا تلك الجزر القليلة التى لا تحوى مطلقا أى سلاحف). جزيرة إيزابلا الكبيرة (أو جزيرة "البيمارل" بالنسبة لداروين) تتكون من سلسلة من خمسة براكين رئيسية، وكل بركان منها يحوى النوع (أو النوع الفرعى) الخاص به من السلاحف البرية. إيزابلا هكذا هي حقا أرخبيل من داخل أرخبيل: منظومة من الجزر داخل إحدى الجزر. ومبدأ الجزر بالمعنى الحرفى الجغرافى، الذى يجهز المسرح لتطور الجزر بالمعنى المجازى الوراثى للنوع، هذا المبدأ يتم إثباته عمليا هنا في أرخبيل شباب داروين السعيد، إثباتا رائعا روعة لا مثيل لها أبدا[١].

لا توجد جزر تصل إلى أن تكون منعزلة بدرجة أكبر كثيرا من جزيرة سانت هيلينا، وهى تتكون من بركان وحيد في جنوب الأطلنطى، على بعد يقرب من ١٢٠٠ ميلا من ساحل أفريقيا. يوجد في الجزيرة أنواع نباتات متوطنة تقرب من المائة نوع (قد يسميها داروين في شبابه بأنها "مخلوقات محلية أصلا، بينما قد يقول عنها داروين الأكبر سنا أنها قد تطورت هناك). يوجد من ضمن هذه النباتات غابات أشجار تنتمى لفصيلة المركّبات (daisy).

تشبه هذه الأشجار في عادات سلوكها أشجارا في البر الرئيسي الأفريقى وإن لم تكن على صلة قرابة وثيقة بها. نباتات البر الرئيسي التى لها معها علاقة قرابة "بالفعل" هي أعشاب أو شجيرات صغيرة. لا بد وأن ما حدث هو أن بذورا قليلة للأعشاب أو الشجيرات الصغيرة قد تصادف أنها اجتازت ثغرة الألف ميل من أفريقيا، واستقرت فوق جزيرة سانت هيلينا، ولما كان الموقع البيئى لأشجار

---

(١) هذه الفقرات عن السلاحف البرية العملاقة مستخلصة من مقال كتبته فوق سفينة اسمها "البيجل" (ليست هي سفينة البيجل الحقيقية التى بادت لسوء الحظ من زمن طويل) وكان ذلك في أرخبيل جالاباجوس، وقد نشر المقال في صحيفة "الجارديان" في ١٩ فبراير ٢٠٠٥.

الغابات غير ممتلئ هنا فإن البذور قد طورت جذوعا أكبر وأكثر خشبا حتى أصبحت أشجارا على النحو الصحيح. هناك أشجار مماثلة من فصيلة تشبه المركبات قد تطورت مستقلة في أرخبيل جالاباجوس. هذا نمط متماثل فوق الجزر في العالم كله.



أشجار الغابة في سانت هيلينا

لدى كل بحيرة من البحيرات الأفريقية الكبرى مجموعتها الخاصة الفريدة من الأسماك، وتغلب عليها مجموعة تسمى المجموعة البلطية أو المشطية (cichlid). المجموعة البلطية لبحيرات فكتوريا وتنجانيقا ومالاوى يوجد في كل منها مئات عديدة من الأنواع، كل منها يتميز تميزا كاملا احدها عن الآخر. من الواضح أن هذه الأنواع قد تطورت منفصلة في البحيرات الثلاث، وهذا يجعل من تلاقيها في نفس المدى من "المهن" في البحيرات الثلاث كلها أمرا أكثر من الرائع. يبدو الأمر في كل بحيرة وكأن واحدا أو اثنين من الأنواع المؤسسة قد اتخذت على نحو ما طريقها لداخل البحيرة آتية في المقام الأول من الأنهار. ثم حدث تنواع لهؤلاء المؤسسين في كل بحيرة، ثم حدث لها تنواع مرة أخرى، لتملأ البحيرة

بمئات من الأنواع التى نراها الآن. كيف حدث داخل حدود إحدى البحيرات، أن توصلت الأنواع المتبرعمة إلى الانعزال الجغرافى في البداية، بما يمكنها من ان تنفصل متباعدة ؟

عندما قدمت مفهوم الجزر للقارئ، شرحت له أنه من وجهة نظر السمك فإنه يرى أن البحيرة المحاطة بالأرض تكون جزيرة. لعله أقل وضوحًا عن ذلك بدرجة هينة، أن الجزيرة حتى بالمعنى التقليدى كأرض محاطة بالماء، يمكن أن تعد "جزيرة" للسمك، خاصة بالنسبة للسمك الذى يعيش فقط في المياه الضحلة، دعنا نفكر في البحر، حيث يوجد سمك في الشعب المرجانية لا يغامر أبدا بالدخول إلى المياه العميقة. من وجهة نظر هذا السمك، فإن الحافة الضحلة للجزيرة المرجانية تعد "جزيرة"، و"الحاجز المرجانى الكبير" يعد أرخبيلا. بل أن شيئا مماثلا قد يحدث حتى فى إحدى البحيرات. عندما يوجد بروز صخرى في إحدى البحيرات، خاصة إذا كانت بحيرة كبيرة، فإن هذا البروز يمكن أن يكون جزيرة بالنسبة لسمكة تقيدها عادات سلوكها بالبقاء في المياه الضحلة. من المؤكد أن هذه تقريبا هي الطريقة، التى اتبعتها على الأقل بعض المجموعات البلطية، للتوصل إلى بدء انعزالها في البحيرات الأفريقية الكبرى. معظم أفراد المجموعة يكون وجودها مقصورًا على المياه الضحلة حول الجزر، أو في الخلجان والخور. يؤدى هذا إلى التوصل إلى الانعزال جزئيا عن مثل هذه الجيوب الأخرى من المياه الضحلة، التى تتصل من آن لآخر بروافد مستعرضة من المياه العميقة تمر فيما بينها لتشكل المرادف المائى "لأرخبيل" يشابه أرخبيل جالاباجوس.

توجد أدلة قوية (كما مثلا في عينات قلوب الرواسب) تدل على أن مستوى بحيرة مالاوى (التى كانت تسمى بحيرة نياسا عندما قضيت أول أجازاتى كطفل يلهو فوق شواطئها الرملية) هو مستوى يرتفع وينخفض دراميا عبر القرون، وقد

وصل إلى نقطة منخفضة في القرن الثامن عشر تنخفض بأكثر من ١٠٠ متر عن المستوى الحالى. في ذلك الوقت لم تكن الكثير من جزرها جزرا بالمرة، وإنما كانت تلالا فوق الأرض المحيطة بالبحيرة التى كانت وقتذاك أصغر. عندما ارتفع مستوى البحيرة في القرنين التاسع عشر والعشرين، أصبحت التلال جزرا، وأصبحت سلاسل التلال أرخبيلات، وبدأت تنطلق عمليات تنواع بين مجموعات البلطيات التى تعيش في المياه الضحلة، والتى تعرف محليا باسم "مبونا". "يكاد يكون لكل نتوء صخرى ولكل جزيرة مجموعة فريدة من المبونا، بما لا نهاية له من الأشكال الملونة والأنواع. لما كان الكثير من هذه الجزر والنتوءات الصخرية جافة خلال السنوات الأخيرة ما بين المائتين والثلاث مئات، فإن تأسيس هذه المجموعات قد حدث خلال ذلك الوقت ".

التنواع السريع هكذا هو شيء تبرع فيه إلى أقصى حد أسماك المجموعة البلطية. بحيرة مالاوى وبحيرة تنجانيقا عمرهما كبير، أما بحيرة فيكتوريا فصغيرة السن إلى حد بالغ. تشكل حوض البحيرة منذ حوالى ٤٠٠٠٠٠ سنة لا غير، وقد جف مرات عديدة بعدها، أحدثها منذ ما يقرب من ١٧٠٠ سنة. يبدو أن معنى هذا هو أن مجموعة أسماكه المتوطنة التى يقدر عددها بأربعمائة وخمسين نوعا أو ما يقرب من أسماك البلطيات، هي مجموعة قد تطورت عبر مقياس زمنى من القرون، وليس من ملايين السنين، وهى الفترة التى نربط بينها عادة وبين التباعد التطورى بهذا المقياس الكبير. بلطيات بحيرات أفريقيا تثير أعجابنا بقوة بما يمكن أن يفعله التطور في مدى زمنى قصير. وهى تكاد تستحق أن نضمنها في فصل هذا الكتاب المعنون "أمام أعيننا مباشرة".

أدغال وغابات أستراليا تغلب عليها أشجار جنس واحد هو "اليوكالبتوس، *Eucalyptus* "، ويوجد منها ما يزيد عن ٧٠٠ نوع، تملأ مدى هائلا من المواقع

البيئية. يمكننا مرة أخرى أن نطبق هنا المبدأ المأثور لداروين عن عصافير الحسون: يكاد المرء أن يتخيل أن نوعا واحدا من أنواع اليوكاليبت قد "أُخذ وأُحدث فيه تعديل ليصل لنهايات مختلفة". بل هناك بما يشبه ذلك مثل هو حتى أكثر شهرة فيما يتعلق بمجموعة الحيوانات الثديية الأسترالية. توجد في أستراليا (أو أنه كان يوجد فيها قبل أن تحدث الانقراضات الحديثة التى ربما يكون سببها هو وصول سكانها المحليين) المرادفات الإيكولوجية للذئاب، والقطط، والأرانب، وحيوانات الخلد، والزبابة، والأسود، والسنجاب الطائر وحيوانات كثيرة غيرها. إلا أن هذه المرادفات حيوانات كيسية أو جرابية، تختلف تماما عن الثدييات المشيمية المألوفة لنا في سائر أنحاء العالم من ذئاب، وقطط، وأرانب وحيوانات خلد، وزبابة وأسود وسناجب طائرة. المرادفات الأسترالية تنحدر كلها من أنواع قليلة لا غير من السلف الكيسى أو لعله نوع واحد فقط قد "أُخذ وأُحدث فيه تعديل ليصل لنهايات مختلفة". هذه المجموعات الحيوانية الكيسية الجميلة قد أنتجت أيضًا كائنات يصعب أن توجد نظائر لها خارج أستراليا. هناك أنواع كثيرة من الكنغرو تكاد تملأ المواقع البيئية الملائمة لأشباه الظبى (أو لأشباه القرد أو الليمور في حالة كنغرو الأشجار) ولكنها تجوب هنا وهناك بالوثب وليس بالعدو. وللكنغرو مدى حجم يتراوح بدءا من الكنغرو الأحمر الكبير (بل حتى بدءا بحيوانات كنغرو أكبر حجما قد انقرضت بما في ذلك كنغرو لاحم متواثب مخيف) ووصولا إلى الكنغرو الصغير الحجم من نوع الولّب وكنغرو الشجر. كذلك كان هناك الكيسيات العملاقة في حجم وحيد القرن، الديبروتودونات، ذوات القواطع الثنائية في الفك الأسفل (Diprotodonts)، ولها صلة قرابة بحيوانات الومبات الحديثة (wombats) ولكن طولها يبلغ ٣ ياردات وارتفاعها عند الكتف يبلغ ٦ أقدام، ووزنها يصل إلى طنين اثنين. سوف أعود إلى كيسيات أستراليا في الفصل القادم.

لعله مما يثير سخرية بالغة أن أذكر الأمر التالى، ولكنى أخشى أن علّى أن أفعل ذلك بسبب تلك النسبة من السكان الأمريكيين التى تزيد عن الأربعين في المائة والتى أبديت رثائى لها في الفصل الأول، فأفرادها يتقبلون الكتاب المقدس بالمعنى الحرفى لما فيه، وأنا أقول لهم: هيا فكروا فيما ينبغى أن يبدو عليه التوزيع الجغرافى للحيوانات لو أنها كانت قد توزعت كلها من فلك نوح. أفلا ينبغى أن يكون هناك عندها بعض نوع من تطبيق لقانون انخفاض تباين الأنواع كلما اتجهنا بعيدا عن بؤرة الحدث – وربما تكون هذه البؤرة هي جبل أرارات ؟ لا حاجة لى بأن أذكر للقارئ أن هذا ليس ما نراه.

ماذا سيكون السبب في أن كل هذه الكيسيات – التى يتراوح مداها بدءا من الفئران ذات الأكياس الضئيلة الحجم، ومرورا بحيوانات الكوالا والبلبى(*)، (bilby)، ووصولا إلى الحيوانات العملاقة من الكنغرو والديبروتودونات – ما السبب في ان هذه الكيسيات قد هاجرت كلها في جمع واحد من جبل أرارات إلى أستراليا، ولم تفعل ذلك مطلقا أى من المشيميات ؟ أى طريق اتخذته هذه الكيسيات ؟ ولماذا لم يحدث ولا لعضو واحد من قافلتها المنتشرة أن يتوقف في طريقه ليستقر ربما في الهند أو الصين أو بعض ملاذ في طريق الحرير الكبير؟ ما السبب في أن كل رتبة الدرداوات (كل الأنواع العشرين من حيوان الأرماديللو المدرع، بما في ذلك الأرماديللو المارد المنقرض، وكل الأنواع الستة من حيوان الكسلان، بما في ذلك حيوانات الكسلان الماردة المنقرضة، وكل الأنواع الأربعة من آكل النمل) كل حيوانات رتبة الدرداوات هذه قد مضت محتشدة إلى أمريكا الجنـوبية دون أن تخطـئ هدفها، دون أن تترك أى مخلفات وراءها، فلا أثر لجلد أو شعر

(*) البلبى: نوع من القوارض المحلية بأستراليا ويعنى هذا الاسم بلغة السكان المحليين الجرذ طويل الأنف. (المترجم)

أو رقاقة من درع أو أى أثر لمن استقروا في بعض مكان بطول الطريق ؟ لماذا انضمت لها كل الرتبة التحتية من قوارض "الكافيومورف، Caviomorph "، بما في ذلك خنازير غينيا، وقوارض الأغوطى والباكه، والأرانب البرية الضخمة، وخنزير الماء، والشنشلا وحيوانات كثيرة غيرها، مجموعة كبيرة من القوارض التى تتميز بها أمريكا الجنوبية، ولا توجد في أى مكان آخر ؟ ما هو السبب في أن رتبة فرعية من القرود "البلاتيرين" ذات الأنوف العريضة (Platyrrhine) كلها بأسرها توجد في أمريكا الجنوبية وليس في أى مكان آخر؟ أما كان ينبغى لعدد صغير منها على الأقل أن ينضم لباقى القرود "الكاتارين" ذات الحاجز الضيق بين المنخرين Catarrhines في آسيا وأفريقيا ؟ أما كان ينبغى أن نوعا واحدا على الأقل من قرود الكاتارين ذات الحاجز الأنفى الضيق سيجد نفسه في العالم الجديد مع قرود البلاتيرين العريضة الأنف؟ لماذا حدث لكل طيور البطريق أن اتخذت طريقها الطويل بمشيتها المتهادية متجهة إلى الأنتركيتكا قارة القطب الجنوبى ولم يتخذ طائر واحد منها طريقه إلى القطب الشمالى الذى لن يقل حفاوة عن الجنوبى؟

حدث أن وجد أحد الحيوانات السلف من الليمور نفسه في مدغشقر، ومرة أخرة فمن الممكن جدا أنه كان من نوع وحيد لا غير. أما الآن فيوجد سبعة وثلاثون نوعا من الليمور (يضاف لها بعض أنواع منقرضة). يتراوح حجم هذه الحيوانات ما بين الليمور الفأر القزم الأصغر في حجمه من الهامستر، والليمور العملاق الأكبر حجما من الغوريلا، والذى يشبه الدب، وقد راح منقرضا من زمن حـــديث تمامـــا. وكـــل حيوانات الليمور هذه لآخر واحد منها توجد في مدغشقر. لا توجد حيوانات ليمور في أى مكان آخر من العالم، ولا يوجد في مدغشقر أى قرود. ما هي بحق السماء الطريقة التى يعتقد الأربعون في المائة من منكرى التاريخ أنها وصلت بالأمور إلى أن تكون بهذا الوضع ؟ هل حدث أن كل السبعة والثلاثين نوعا أو الأكثر من أنواع الليمور قد سارت محتشدة في كيان واحد لتعبر

هابطة اللوح الخشبى للنزول من فلك نوح مولية الأدبار (بالمعنى الحرفى في حالة ليمور الذيل الحلقى)(*)، وهى تنطلق سريعا إلى مدغشقر، دون أن تترك أثرا وحيدا على جانب الطريق، في أى مكان خلال كل طول وعرض أفريقيا ؟

مرة أخرى، يؤسفنى أن أهوى عنيفا بمطرقتى فوق ثمرة جوز صغيرة وهشة هكذا، إلا أنه يلزم على أن أفعل ذلك لأن هناك ما يزيد عن نسبة أربعين في المائة من الشعب الأمريكى يؤمنون حرفيا بحكاية فلك نوح. كان ينبغى أن نتجاهلهم وأن نواصل طريقنا مع العلم، إلا أننا لا يمكننا أن نتحمل ما يكلفه ذلك، لأن هؤلاء أناس يتحكمون في مجالس المدارس، وهم يدرسون في البيت لأطفالهم ليحرموهم من التواصل مع مدرسى العلم الصحيح، وهم يتضمنون الكثيرين من أعضاء الكونجرس في الولايات المتحدة، وبعض حكام الولايات، بل حتى المرشحين لمنصب الرئيس ونائب الرئيس. هؤلاء لديهم المال والسلطة لبناء المعاهد والجامعات، بل حتى بناء المتاحف حيث يمتطى الأطفال نماذج ميكانيكية لديناصورات بالحجم الحى، ويقال للأطفال بوقار أن هذه الديناصورات كانت تشارك البشر في الوجود. وكما تبين استطلاعات الرأى الحديثة، فإن بريطانيا لا تبتعد كثيرا عن هذه المعتقدات (أو لعله ينبغى أن يفهم هذا على أن بريطانيا تتقدم أمريكا في ذلك)، هي وأجزاء أخرى من أوروبا ومعظم العالم الإسلامى.

حتى إذا تركنا جانبا جبل أرارات، وحتى إذا أحجمنا عن السخرية ممن يأخذون أسطورة فلك نوح بالمعنى الحرفى، ستظهر مع ذلك مشاكل مماثلة تنطبق على أى نظرية عن خلق الأنواع منفصلة. أى سبب ذلك الذى يؤدى إلى تصميم الأنواع بحرص مزروعة فوق الجزر والقارات بذلك النمط المضبوط الملائم الذى يطرح بما لا يقاوم أن هذه الأنواع قد تطورت وانتشرت من مكان تطورها ؟ لماذا

(*) ليمور يتميز بذيل طويل تتتابع عليه حلقات سوداء وبيضاء. (المترجم)

يكون مكان الليمور في مدغشقر وليس في أى مكان آخر ؟ لماذا يكون مكان القرود البلاتيرينية ذات الأنوف العريضة في أمريكا الجنوبية وحدها، والقرود الكاتارينية ذات الحاجز الأنفى الضيق في أفريقيا وآسيا فقط ؟ لماذا لا توجد ثدييات في نيوزيلندا سوى الوطاويط التى تستطيع الطيران هناك ؟ لماذا يحدث للحيوانات الموجودة في سلسلة جزر أنها تشبه وثيقا الحيوانات فوق الجزر المجاورة، ولماذا يحدث دائما تقريبا أنها تشبه بدرجة أقل – وإن كان الشبه لا يمكن إخطاؤه – تلك الحيوانات التى توجد فوق أقرب قارة أو جزيرة كبيرة ؟ لماذا توجد في أستراليا الثدييات الكيسية فقط، ومرة أخرى فيما عدا الوطاويط التى تستطيع الطيران هناك، وتلك الثدييات التى يمكن أن تصل فى قوارب الكانو المصنوعة بشريا ؟ الحقيقة هي أننا إذا مسحنا كل قارة وكل جزيرة، وكل بحيرة وكل نهر، وكل قمة جبل وكل واد في السفوح، وكل غابة وكل صحراء، فإن الطريقة الوحيدة لفهم معنى توزيع الحيوانات والنباتات، هي مرة أخرى أن نتبع بصيرة داروين في مبدئه عن عصافير الدورية في جالاباجوس: "قد يتخيل المرء حقا أنه من بين قلة من العصافير الأصلية... أخذ نوع واحد منها وأُحدث فيه تعديل ليصل إلى نهايات مختلفة ".

كان داروين مفتونا بهذه الجزر وظل يسعى طولا وعرضا في عدد قليل منها وإن كان عددا له قدره، وذلك أثناء رحلته بسفينة البيجل. بل أنه حتى استنبط الحقيقة المذهلة عن الطريقة التى تتشكل بها جزر من فئة رئيسية، تلك الجزر التى تبنيها حيوانات تسمى المرجانية. توصل داروين لاحقا إلى إدراك الأهمية الحاسمة للجزر والأرخبيلات فيما يتعلق بنظريته، وأجرى تجارب عديدة لحسم الاجابات عن الأسئلة حول الانعزال الجغرافى كتمهيد للتنواع (وإن كان لم يستخدم هذه الكلمة). وكمثل فإنه في عدد من التجارب أبقى بذورا في مياه البحر لفترات طويلة، وأثبت عمليا أن البعض منها احتفظ بالقدرة على الإنبات حتى بعد أن

غمرت لزمن طويل يكفى للانجراف من القارات إلى الجزر المجاورة. ومن الناحية الأخرى فإن بيض الضفادع يموت فورا بماء البحر، واستخدم داروين ذلك بمهارة ليفسر حقيقة دالة بشأن التوزيع الجغرافى للضفادع:

فيما يتعلق بغياب رتب حيوانية بأكملها في جزر المحيط، لاحظ بورى سانت فنسنت من زمن طويل أن الضفدعيات (Batrachians) (الضفدع، والعلجوم ضفدع الطين، وسمندل الماء) لا توجد أبدا فوق أى من الجزر الكثيرة المبعثرة في المحيطات الكبرى. قد بذلت جهدا للتحقق من هذه الدعوى ووجدتها حقيقية بكل دقة. على أن هناك من أكد لى أنه هناك ضفدعة توجد فوق جبال الجزيرة الكبرى المسماة، نيوزيلندا، على أنى أظن أن هذا الاستثناء (إذا كانت المعلومات صحيحة) يمكن تفسيره عن طريق عامل جليدى. غياب الضفدع والعلجوم وسمندل الماء غيابا شاملا هكذا من الكثير من الجزر المحيطة أمر لا يمكن تفسيره بظروفها الفيزيقية، بل يبدو في الحقيقة أن الجزر تلائم هذه الحيوانات بوجه خاص؛ ذلك أن الضفادع أدخلت إلى جزر ماديرا، والآزور، وموريشيوس، وتكاثرت تكاثرا بالغا حتى أصبحت مصدر إزعاج. على ان هذه الحيوانات هي وبيضها معروف عنها أنها تموت مباشرة بماء البحر، وبهذا ففى رأى الشخصى أننا نستطيع أن ندرك أنه ستكون هناك صعوبة هائلة في انتقالها عبر البحر، وبالتالى فإن هذا هو السبب في أنها لا توجد على أى جزيرة محيطية. على أنه سيكون من

الصعب جدا حسب نظرية سفر التكوين أن نعرف السبب في أنها فيما ينبغى لم يتم تكوينها هناك.

كان داروين يعى تماما أهمية التوزيع الجغرافى للأنواع بالنسبة لنظريته عن التطور. لاحظ داروين أن معظم الحقائق يمكن تفسيرها إذا افترضنا أن الحيوانات والنباتات قد حدث لها تطور. ينبغى أن نتوقع من ذلك – وهذا هو ما نجده فعلا – أن الحيوانات الحديثة تنحو إلى أن تكون قد عاشت فوق القارة نفسها كحفريات يمكن على نحو معقول أن تكون أسلاف الحيوانات الحديثة، أو على صلة قريبة بأسلافها. كذلك ينبغى أن نتوقع – وهو ما نجده فعلا – أن الحيوانات تتشارك في القارة نفسها مع أنواع تشبهها. هاكم ما قاله داروين عن هذا الموضوع، وهو يلقى انتباها خاصا لحيوانات أمريكا الجنوبية التى كان يعرفها جيدا.

عندما يسافر عالم التاريخ الطبيعى متجها مثلا من الشمال إلى الجنوب فإنه لا يمكن أن يفوته أن يتنبه مذهولا للأسلوب الذى يحدث به أن تحل مجموعات متتالية من الكائنات إحداها مكان الأخرى، وهى مجموعات متمايزة بوجه خاص، وإن كان من الواضح أن بينها علاقة قرابة. سوف يسمع هذا العالِم من صنوف الطيور التى ترتبط معا ارتباطا وثيقا وإن كانت صنوفا متمايزة، سوف يسمع منها نغمات صوتية تكاد تتماثل، ويرى أن لها أعشاش بنيت على نحو متشابه، وإن لم تتماثل تماما، وبيضها له ألوان تكاد تكون متماثلة. يسكن في السهول القريبة من مضيق ماجلان نوع واحد من "الرية، rhea"، (نعام أمريكى)، بينما يسكن في اتجاه الشمال في سهول لابلاتا نوع آخر من الجنس

نفسه؛ ولا يسكن فى أى من هذه السهول نعام حقيقى أو نعام "الإمو، emeu" أى مثل النعام الذى يوجد في أفريقيا وأستراليا عند نفس خط العرض. ونحن نرى في نفس سهول لابلاتا حيوانات الأغوطى (agouti) والفسكاش (bizcacha) التى لها العادات نفسها مثل عادات مالدينا من الأرانب البرية... إلا أنها تظهر بوضوح نمط بنية أمريكية. عندما نصعد إلى القمم العالية في "كورديليرا" نجد نوعا جبليا من الفسكاش؛ إذا نظرنا إلى المياه لا نجد أى حيوان قندس أو جرذ المسك، وإنما نجد حيوان الكيب (coypu) وخنزير الماء (capybara)، قوارض من النمط الأمريكى.

هذا في أغلبه إعمال للحس المشترك، وداروين هكذا قد استطاع تفسير نطاق هائل من الملاحظات بواسطة الحس المشترك. إلا أن هناك حقائق معينة حول التوزيع الجغرافى للحيوانات والنباتات وحول توزيع الصخور، تحتاج إلى تفسير من نوع مختلف: تفسير بعيد تماما عن أى حس مشترك، وكان سيؤدى إلى أن يُذهل داروين ويسحره لو أنه عرف بأمره فحسب.

هل تتحرك الأرض ؟

كان كل الناس في زمن داروين يعتقدون أن خريطة العالم هي إلى حد كبير ثابتة. كان بعض معاصرى داروين يقرون بالفعل بإمكان وجود جسور أرضية فيما مضى قد غُمرت الآن تحت المياه، وذلك حتى يفسروا مثلا ما يوجد من أوجه تماثل في الحياة النباتية بأمريكا الجنوبية وأفريقيا. لم يكن داروين نفسه مغرما إلى حد كبير بفكرة الجسر الأرضى، ولكنه بلا شك كان سيبتهج بالأدلة الحديثة على أن

القارات بأكملها تتحرك فوق وجه كوكب الأرض. هذا يوفر إلى حد بعيد أفضل تفسير لحقائق معينة رئيسية عن توزيع الحيوانات والنباتات، خاصة بالنسبة للحفريات. وكمثل لذلك فإن هناك أوجه تماثل بين حفريات أمريكا الجنوبية وأفريقيا، وقارة القطب الجنوبى، ومدغشقر، والهند وأستراليا، ونحن نفسرها الآن بالرجوع إلى قارة جوندوانا الجنوبية العظمى التى كانت ذات وقت توحد كل هذه الأراضى الحديثة. مرة أخرى فإن محقق الشرطة الذى يأتى متأخرا يكون مرغما على استنتاج أن التطور حقيقة.

أول من نادى بنظرية "الانجراف القارّى"، كما كانت تسمى عادة، هو عالم المناخ الألمانى ألفريد فيجنر (١٨٨٠ – ١٩٣٠). لم يكن فيجنر أول من نظر إلى خريطة للعالم ليلاحظ أن شكل إحدى القارات أو الجزر كثيرا ما يتوافق مع خط الساحل المقابل لها وكأن هاتين الكتلتين من الأرض قطعتان من لغز الصور المتشابكة، حتى وإن كان خط الساحل المقابل بعيدا تماما. لست أتحدث هنا عن أمثلة صغيرة محلية، مثل جزيرة وايت وتعشق خطوطها الخارجية تعشقا محكما مع ساحل هامبشير، وكأنما لا يكاد يكون هناك وجود لمضيق "سوانت " هناك. إنما ما لاحظه فيجنر ومن سبقوه هو أن هناك شيئا ما من هذا النوع نفسه يبدو أنه حقيقى فيما يتعلق بكل الجوانب المتواجهة بين قارات أفريقيا وأمريكا الماردة. يبدو الساحل البرازيلى وكأنه قد قصّه خياط ليتلاءم مع بروز غرب أفريقيا، بينما الجزء الشمالى من بروز أفريقيا يتلاءم جيدا مع ساحل أمريكا الشمالية من فلوريدا حتى كندا. لا يقتصر الأمر على توافق الأشكال بطريقة تقريبية: فقد أوضح فيجنر وجود توافق أيضا في التكوينات الجيولوجية أعلى وأسفل الجانب الشرقى من أمريكا الجنوبية مع الأجزاء المناظرة من الجانب الغربى لأفريقيا. هناك ما هو أقل وضوحا بدرجة هينة، وهو أن الساحل الغربى لمدغشقر يشكل تلاؤما جيدا مع الساحل الشرقى لأفريقيا (ليس مع الجزء الجنوبى من الساحل الأفريقى الذى يقع الآن إزاء مدغشقر، وإنما مع ساحل تنزانيا وكينيا الأبعد شمالا)، بينما الجزء

الطويل المستقيم من الجانب الشرقى لمدغشقر يتشابه مع الحرف المستقيم لغرب الهند. أوضح فيجنر أيضا أن الحفريات القديمة التى عثر عليها في أفريقيا وأمريكا الجنوبية تتشابه بدرجة أكبر من المتوقع لو كانت خريطة العالم قد ظلت دائما بما هي عليه الآن. كيف أمكن أن يحدث ذلك، مع اعتبار الاتساع الكبير لجنوب المحيط الأطلسى ؟ هل كانت القارتان ذات مرة أكثر قربا إحداهما للأخرى، أو هل كانتا حتى متحدتين ؟ هذه فكرة مغوية، ولكنها تعد وقتذاك سابقة لزمنها. لاحظ فيجنر أيضا وجود تماثل بين حفريات مدغشقر والهند. كما يوجد ما يشابه ذلك من تماثلات دالة بين حفريات شمال أمريكا الشمالية وحفريات أوروبا.

أدت هذه الملاحظات إلى أن يطرح فيجنر فرضًا جريئا فيه هرطقة، هو الانجراف القارى. فطرح أن كل قارات العالم الكبرى كانت مندمجة معا في قارة فائقة الضخامة سماها "بانجى، (Pangaea) ". كما طرح أن بانجى عبر زمن جيولوجى هائل قد فككت أوصالها هي نفسها لتشكل القارات التى نعرفها الآن، وانجرفت هذه القارات ببطء إلى مواقعها الحالية ولم تنته بعد من الانجراف هكذا.

يكاد المرء يسمع صوت معاصرى فيجنر المتشككين، وهم يتساءلون عما إذا كان فيجنر قد دخن شيئا من مخدر، إذا استخدمنا لغة الشارع حاليا. على أننا نعرف الآن أنه كان على صواب، أو أنه يكاد يكون مصيبا. على الرغم مما كان عليه فيجنر من بعد نظر وقدرة على التخيل، إلا أننى يجب أن أوضح أن فرضه عن الانجراف القارى يختلف اختلافا له قدره عن نظريتنا الحديثة عن تكتونيات الألواح. كان فيجنر يعتقد أن القارات تشق طريقها عبر المحيطات وكأنها سفن ماردة، وهى لا تطفو تماما في المياه مثل جزيرة "بوبسيبتل " المجوفة لدى دكتور دولتيل(*)، وإنما تطفو فوق طبقة الوشاح نصف السائلة لكوكب الأرض. أقام العلماء الآخرون قلاعا كلها تشكيك في ذلك، ولها أسبابها المعقولة بما يكفى.

(*) د. دولتيل: شخصية روائية لطبيب بيطرى يفهم لغة الحيوانات ويتبادل الحديث معها. (المترجم)

مـــا هي تلك القوى الجبارة التى تستطيع أن تدفع جرما في حجم أمريكا الجنوبية أو أفريقيا لمسافة من آلاف الأميال ؟ سوف أشرح كيف تختلف النظرية الحديثة لتكتونيات الألواح عن نظرية فيجنر قبل الوصول إلى الأدلة الداعمة لها.

رسم كارتونى يستلهم نظرية

فيجنر عن "الانجراف القارى"



حسب نظرية تكتونيات الألواح فإن سطح كوكب الأرض كله، بما في ذلك قيعان المحيطات المختلفة، يتكون من سلسلة من ألواح صخرية متراكبة مثل حلة مدرعة. القارات التى نراها هي تكثيفات للألواح ترتفع فوق مستوى سطح البحر. الجزء الأكبر من كل لوح يقع تحت البحر. الألواح بخلاف قارات فيجنر لا تبحر خلال البحر، أو لا تشق طريقها خلال سطح كوكب الأرض، وإنما "هي" سطح كوكب الأرض. دعنا لا نعتقد مثل فيجنر أن القارات نفسها تتشابك معا مثل قطع لغز الصور المتشابكة أو أنها تُشد منفصلة إحداها عن الأخرى، ليس الأمر هكذا. دعنا نفكر بدلا من ذلك في أن أحد الألواح يتواصل إنتاجه مستمرا عند طرف يتنامى، في عملية رائعة تسمى انتشار قاع البحر، سوف أشرحها بعد لحظة. اللوح عند أطراف أخرى قد يكون "مسحوبا لأسفل" تحت لوح مجاور. أو أن الألواح المتجاورة قد تنزلق أحدها بطول الآخر. الصورة في الصفحة الملونة ١٠٠ تظهر جزءا من "صدع سان أندرياس" في كاليفورنيا، وهو المكان الذى تمر فيه أطراف لوحى الباسفيك وشمال أمريكا وأحدهما يجز في الآخر. مجموع تأثير انتشار قاع البحر مع السحب لأسفل يعنى أنه لا توجد ثغرات بين الألواح. سطح الكوكب كله يغطى بألواح، وكل منها يختفى نمطيا بالسحب عند أحد جوانبه أسفل لوح مجاور، أو بالانزلاق عبر لوح آخر، أثناء تناميه خارجا من منطقة لانتشار قاع البحر في مكان آخر.

إنه لمما يثير الإلهام أن نفكر في وادى الأخدود الهائل الذى لا بد وأنه ذات يوم قد شق طريقه ملتويا كالثعبان خلال قارة جوندوانا بين ما سيكون في المستقبل أفريقيا وأمريكا الجنوبية. لا شك أنه كان أولا مرقطا ببحيرات مثل ما هو موجود حاليا في وادى الصدع بشرق أفريقيا. ثم إنه امتلأ لاحقا بماء البحر بينما أمريكا الجنوبية تُجز بعيدا مع معاناة آلام تكتونية مبرحة لانتزاعها بقوة. دعنا نتخيل المنظر الذى يلاقى مرحبا بعض إنسان خرافى قوى وديونوصورى وهو يحملق عبر

المضايق الطويلة الضيقة التى تتباعد ببطء عند "غرب جوندوانا ". كان فيجنر مصيبا في أن تكامل الأشكال مثل قطع لغز الصور المتشابكة لم يكن مصادفة. ولكنه أخطأ في اعتقاده بأن القارات تشبه أطواف هائلة تشق طريقها خلال ما بينها من ثغرات مليئة بالبحار. أمريكا الجنوبية وأفريقيا هما ورفهما القارى، ليسا إلا مناطق متكثفة من لوحين، يقع الكثير من أسطحهما الصخرية تحت البحر. الألواح تشكل الغلاف الحجرى الصلب(*) lithosphere – وتعنى هذه الكلمة حرفيا غلاف الصخر – الذى يطفو فوق الغلاف الانسيابى(**) الساخن نصف المصهور – الغلاف الضعيف. الغلاف الانسيابى ضعيف بمعنى أنه ليس صلبا وهشا مثل الألواح الصخرية للغلاف الحجرى، وإنما هو يسلك بما يشبه السائل إلى حد ما: فهو مطواع مثل المعجون أو حلوى الطوفى، وإن لم يكن بالضرورة مصهورا. لعله مما يثير شيئا من البلبلة أن هذا التمييز بين غلافين دائريين بمركز موحد لا يطابق بالكامل التمييز المألوف بأكثر بين "القشرة" و"الوشاح"، الذى يتأسس على التكوين الكيميائى وليس على القوة الفيزيقية.

معظم الألواح تتكون من نوعين متميزين من الصخر الحجرى الصلب. قيعان المحيطات مغطاه بطبقة متسقة تقريبا من صخر نارى كثيف جدا، سمكها يقرب من ١٠ كيلومترات. طبقة الصخر النارى هذه تعلوها طبقة سطحية من الصخر الرسوبى والطين. مرة أخرى، فإن القارة هي مساحة من لوح أصبحت مرئية فوق مستوى سطح البحر، وقد علت إلى هذا الارتفاع حيث يزداد اللوح سمكا بطبقات إضافية من صخر أقل كثافة. أجزاء الألواح تحت البحر يتم تكوينها باستمرار عند حوافها – الحافة الشرقية في حالة لوح أمريكا الجنوبية، والحافة

(*) الغلاف الحجرى: القشرة الأرضية. (المترجم)

(**) الغلاف الانسيابى الجزء التالى للقشرة الأرضية. (المترجم)

الغربية في حالة اللوح الأفريقيى، هاتان الحافتان تشكلان الحيد الأطلسى الأوسط الذى يتلوى كالثعبان وهو يشق طريقه في منتصف الاطلسى بدءا من أيسلندا حتى أقصى الجنوب، وأيسلندا هي حقا الجزء المهم الوحيد من الحيد الذى يصل إلى السطح.

هناك حيود مشابهة تحت البحر تبرز من ألواح أخرى في أجزاء أخرى من العالم (انظر الصفحات الملونة ١٠١). الحيود الموجودة تحت البحر تعمل وكأنها نوافير تمتد طويلا (حسب المقياس الزمنى الجيولوجى البطىء)، وتنبجس لتعلو بالصخر المصهور في العملية التى ذكرتها من قبل والتى تسمى نشر قاعر البحر. يبدو أن حيد نشر قاع البحر في وسط الأطلنطى يدفع باللوح الأفريقى شرقا، ويدفع بلوح أمريكا الجنوبية غربا. طرح لذلك تشبيه بصورة مكتبين لهما غطاءان مرنان منزلقان ينتشران في اتجاهين متباعدين، وهى صورة تنقل الفكرة بشرط أن نتذكر أن هذا كله يحدث بمقياس زمنى بالغ البطء، أبطأ من أن يراه البشر. بل في الحقيقة تشبَّه دائما سرعة تباعد أمريكا الجنوبية وأفريقيا تشبيها لا ينسى – سرعة نمو أظافر اليد، وهو تشبيه استمر لا يُنسى دائما حتى كاد يصبح كليشيها مبتذلا. حقيقة وجود القارتين حاليا متباعدتين بمسافة من آلاف الأميال، فيها شهادة إضافية لعمر الكون الهائل الذى يتنافى مع عمره الإنجيلى، وهى شهادة تماثل الأدلة المستقاة من النشاط الإشعاعى التى قابلناها في الفصل الرابع.

استخدمت الآن في التو عبارة "يبدو أن الحيد يدفع " وينبغى أن أسارع إلى التراجع عن ذلك. إنه لمن المغرى أن نفكر في المكاتب بأغطيتها المنزلقة التى تنبجس من العمق للسطح، على أنها تدفع من الخلف ألواح القارات الخاصة بكل منها. إلا أن هذا غير واقعى، والقياس كله خطأ. الألواح التكتونية أضخم كثيرا جدا من أن تُدفع من الخلف بقوى بركانية تنبجس بطول حيد وسط المحيط. لعل ذلك

يشبه أن يحاول فرخ ضفدع أثناء سباحته أن يدفع ناقلة بترول ضخمة. إلا أننا الآن نصل إلى النقطة المهمة. الغلاف الانسيابى أو الضعيف، بمدى قدراته كشبه سائل، فيه تيارات حمل تمتد خلال كل سطحه، تحت كل مسافة الألواح. الغلاف الانسيابى في أى منطقة واحدة يتحرك بطيئا في اتجاه متسق، ثم يلتف ليعود في الاتجاه المضاد هابطا إلى طبقاته الأعمق. الطبقة العليا من الغلاف الانسيابى، تحت لوح أمريكا الجنوبية مثلا، تتحرك بإصرار في إتجاه الغرب. وإذا كان لا يمكن تصور أن انبجاس "أغطية المكاتب" المنزلقة لها القوة الكافية لأن تدفع أمامها لوح أمريكا الجنوبية كله، إلا أنه من الممكن تماما تصور أن تيارا للحمل يشق ببطء طريقه مطردا في اتجاه متسق "تحت كل السطح السفلى" لأحد الألواح، يستطيع بذلك أن يحمل معه كل عبء قارته "الطافى". نحن الآن هكذا لا نتحدث عن أفراخ الضفادع. عندما تكون هناك حاملة بترول ضخمة في "تيار همبولدت" وقد أوقفت محركاتها، سيحدث حقا أنها ستسير مع التيار.

هذه بإيجاز النظرية الحديثة عن الألواح التكتونية. علىّ الآن أن أعود إلى الأدلة التى تثبت أنها نظرية صادقة. الواقع اننا هنا، كما هو طبيعى في حالة كل الحقائق العلمية الراسخة[١]، نجد أن هناك الكثير من الأنواع المختلفة من الأدلة، ولكنى سأتحدث فقط عن أكثرها أهمية وروعة. سأتحدث عن الدليل المستقى من عصور الصخور، خاصة ما يستقى مما فيها من شرائط مغناطيسية. الأمر هنا رائع بما لا يكاد يُصدق، وفيه توضيح أمثل يطابق قصتى عن "محقق الشرطة الذى يصل متأخرا لمشهد الجريمة " ويجد ما يدفعه بإصرار إلى الوصول لاستنتاج واحد

---

(١) كما هو الحال فيما يتعلق "بالنظرية" الحديثة عن التطور، فإنها من الحقائق الراسخة بالمعنى الطبيعى لكلمة النظرية في أول تعريفات قاموس أكسفورد للإنجليزية الذى استشهدت به في الفصل الأول، وأعدت تسميته بالمتبرهنة.

فقط. بل لدينا حتى هنا بعض شيء مماثل جدا لبصمات الأصابع: إنه البصمات المغناطيسية الماردة التى توجد في الصخور.

سوف نصاحب المحقق المجازى في رحلة عبر جنوب الأطلنطى في غواصة بنيت حسب الطلب ولها القدرة على تحمل الضغوط الرهيبة في أعماق البحر. جُهزت الغواصة لاستخدام مثقاب للحصول على عينات من الصخر ابتداء من الرواسب السطحية لقاع البحر، ونزولا إلى الصخور البركانية للغلاف الانسيابى نفسه، كما أن الغواصة فيها أيضا معمل فوق متنها لتأريخ عينات الصخر عن طريق القياس الإشعاعى (انظر الفصل الرابع). يضع المحقق خط سير يتجه شرقا من ميناء "ماسيو" البرازيلى عند خط عرض جنوب خط الاستواء بعشر درجات. بعد أن تقطع خمسين كيلومترًا أو ما يقرب خلال المياه الضحلة للرف القارى (الذى يعد حسب هدفنا حاليا جزءًا من أمريكا الجنوبية)، فإننا نُنزل أبواب الحماية من الضغط العالى ونأخذ في الغطس (يالها من كلمة فيها تحفظ في التعبير!)، فنغطس للأعماق في أسفل حيث الضوء الوحيد الذى يمكن رؤيته طبيعيا هو لشرارة عارضة تبرق مخضرة وهى تنبعث من الوحوش البشعة التى تسكن في هذا العالم الغريب عنا.

عندما نصل إلى القاع عند ما يقرب من ٢٠٠٠٠ قدم (بعمق ٣٠٠٠ قامة(*)) سوف نحفر لأسفل بالمثقاب حتى الغلاف الحجرى البركانى ونأخذ عينة قلب من الصخر. ينطلق معمل التأريخ بالإشعاع على متن الغواصة في عمله، ويسجل عصرا طباشيريا سفليا، منذ ما يقرب من ١٤٠ مليون سنة. تتحرك الغواصة بصعوبة تجاه الشرق بطول الخط الموازى العاشر، مع أخذ عينات من الصخر على فترات متكررة. يقاس عمر كل عينة بحرص، ويتأمل المحقق في

(*) القامة مقياس لعمق الماء يساوى ٦ أقدام. (المترجم)

التأريخـــات، باحثا عن وجــود نمــط من الأنماط. لن يكون عليه أن يبحــث طويلا، هذا أمـــر لا يفــوت أحـــدا ولا حـــتى د. واطسون(*). بينما نسافر شرقا بطول السهول العظمى لقاع البحر، نجد أن الصخور تتجه بوضوح إلى أن تكون أصغر وأصغر عمرا، ويزداد صغر عمرها باطراد. عندما نصل إلى ما يقرب من ٧٣٠ كيلو مترا في رحلتنا، نجد أن عينات الصخر تنتمى لأواخر العصر الطباشيرى بما يقرب من عمر من ٦٥ مليون سنة، وهذا وقت يتفق أنه حدث عنده انقراض آخر الديناصورات. تستمر النزعة نحو صخور أصغر وأصغر سنا، بينما نقترب من وسط الأطلسى، وتبدأ الأضواء الكاشفة للغواصة في تبين سفوح سلسلة جبال عملاقة تحت الماء. هذا هو حيد الأطلنطى الأوسط (انظر الصفحة الملونة ١٠١) وهو ما يجب أن تبدأ الآن غواصتنا في تسلقه. نظل نزحف لأعلى ولأعلى، ونحن ما زلنا نأخذ عينات صخر، ولا زلنا نلاحظ أن الصخور تغدو أصغر وأصغر سنا. مع وصولنا إلى قمم الحيد، تكون الصخور بالغة الصغر في عمرها حتى أنها ربما تكون قد انبجست من البراكين في التو لا غير كلافا طازجة. هذا في الحقيقة هو ما حدث إلى حد كبير. جزيرة أسنسيون جزء من حيد الأطلنطى الأوسط وقد برز هذا الحيد فوق سطح البحر كنتيجة لسلسلة حديثة من التفجرات – حسن، حديثة بمعنى أن ذلك ربما يكون منذ ٦ ملايين سنة؛ أى أنه حديث بمعايير الصخور التى أخذنا عينات منها طول رحلتنا بالغواصة.

(*) د. واطسون شخصية روائية، ويعمل مساعدا لشرلوك هولمز المحقق المشهور في الروايات البوليسية لسير أرثركونان دويل.(المترجم)

استراليا ومدغشقر : جزيرتان للتطور



(a) الكنغرو هو المرادف الأسترالى للظبى، ولكنه متخصص في الوثب بدلا من العدو.



(b) أشجار اليوكالبتوس تغلب على الغابات الأسترالية .



(c) حيوانات الكوالا هي بمثابة حيوانات الكسلان للغابات الأسترالية، ولها سرعة أيض بطيئة مثل الكسلان ، وقد تخصصت في أكل أوراق اليوكالبتوس، ربما لأنه لايوجد إلا حيوانات قليلة أخرى يمكنها التعامل مع سمومه . لاحظ وجود الوليد في الجيب، الذى يتجه للوراء ، ربما بسبب من حدث تاريخى عارض.



(d)البلاتبوس حيوان ظل باقيا في الوجود من أزمنة قديمة، عندما كانت ثدييات جونداوانا مازالت تضع بيضا.

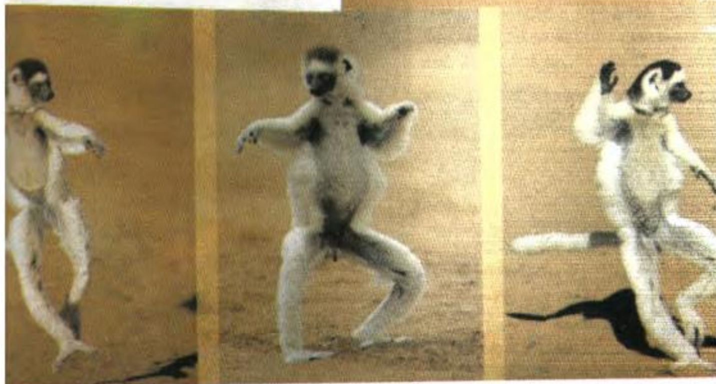




(e) الليمور ذو الذيل الحلقى. لو كانت "البيجل" قد زارت مدغشقر بدلا من جالاباجوس ، هل كان ذلك سيجعلنا نتحدث الآن عن "ليمور داروين" ؟

(f) أتكون الأشجار المريخية أكثر غرابة عن شجرة "التبلدى (baobab) هذه في مدغشقر.

(g) لعل هذا هو النوع المفضل عندى من بين كل أنواع العالم: ليمور سيفاكا الراقص.










دعنا لا نضحك من عروض طائر الأطيش (booby) ذى الأقدام الزرقاء عندما يرفع قدميه ويشير للسماء . ان هذا يثير إعجاب طيور الأطيش الأخرى ، وهذا هو كل ما يهم.

صدع سان أندرياس ، شق هائل بطول كاليفورنيا . سيحدث ذات يوم أن الجزء الغربى من الولاية ، ومعه باجا كاليفورنيا(*) ، سيغدو جزيرة في الباسيفيكى .

(*) باجا كاليفورنيا شبه جزيرة في المكسيك جنوب كاليفورنيا .

(a) الألوان تشار لعمر الصخور تحت البحر. الفواصة الافتراضية في الفصل التاسع تتخذ مسارا متجها للشرق إبتداء من نتوء البرازيل ، ووصولا إلى الصخور الصغيرة السن لحيد الأطلنطي الأوسط عند منتصف الطريق عرضا .

(b) انتشار قاع البحر هو و(c) تيارات الحمل الصيقة البطينة التي تدفع حركات الألواح .

(A) – (d)









(A) – (C)

جالا باجوس: أهى خزانة عرض صغير السن للتطور؟

(a) كالديرا(*) لبركان في جزيرة فرناندينا ، أصغر جزر جالاباجوس وأكثرها نشاطا بركانيا .

(b) منظر من الجو لجالاباجوس يبين خضرة الأراضى المرتفعة (البراكين) واللون القاتم لسهول اللافا.(*)

(c) بجع جالاباجوس يغوص غاطسا طلبا للسمك. هذا نوع فرعى من البجع البنى فى جالاباجوس، وهو لسبب ما قد سمى "بالمثبول" .

(D) – (G)

(d) سحلية جالاباجوس البحرية وهى تسبح. هذه العادة فريدة بين السحالى.

سحلية جالاباجوس البرية العملاقة تختلف من جزيرة للأخرى. هناك سلاحف بصدفة في شكل السرج (e)، تختلف عن السلاحف ذات القبة (f) التى ترعى الأعشاب. وسلاحف السرج ملمح مميز للجزر التى ترعى السلاحف فيها على الصبار، وبالتالى فإن عليها أن تمط من أعناقها عاليا.

(g) منظر نمطى فى جالاباجوس. بجعة جالاباجوس البنية، وبطريق جالاباجوس (البطريق الوحيد الذى يصل بالكاد إلى نصف الكرة الشمالى) وسرطانات "سالى رشيقة الخطى" فوق صخور اللافا السوداء.





هيا الآن ننطلق تجاه أفريقيا، عبر الجانب الآخر من الحيد، لنهبط إلى السهول العميقة عند قاع شرق الأطلنطى. نواصل أخذ عينات الصخر، وكما قد خمن القارئ، فإن الصخور الآن تغدو باطراد أكبر سنا، نحن نتحرك تجاه أفريقيا. ها هنا صورة مرآة للنمط الذى لاحظناه قبل الوصول إلى حيد الأطلنطى الأوسط. لا يشك الآن المخبر المحقق في تفسير ذلك. اللوحان يتحركا في تباعد أثناء انتشار قاع البحر بعيدا عن الحيد. هناك صخر جديد يُضاف إلى اللوحين المتباعدين يأتى كله من النشاط البركانى للحيد نفسه ثم يُحمل بعيدا في اتجاهين مضادين، فوق واحد أو الآخر من أغطية المكتب الهائلة المنزلقة التى نسميها باللوح الأفريقى ولوح أمريكا الجنوبية. الألوان الإضافية في صفحة ١٠١ الملونة والتى توضح هذه العملية تدل على عمر الصخور، فالصخور الملونة بالأحمر هي الأصغر سنا. يستطيع القارئ أن يرى كيف أن بروفيلات العمر على جانبى حيد الأطلنطى الأوسط تشكل كل منها على نحو جميل صورة مرآة للآخر.

يالها من قصة رائعة ! ولكنها ستزداد روعة. يلاحظ المخبر المحقق نمطا أرهف في عينات الصخور عند معالجتها في المعمل فوق متن الغواصة. عينات قلب الصخور التى أخذت من الجزء العميق من الغلاف الحجرى فيها بعض مغناطيسية قليلة، مثل إبرة البوصلة. هذه ظاهرة مفهومة جيدا. عندما تتجمد الصخور المصهورة، ينطبع عليها المجال المغناطيسى للأرض، في شكل استقطاب للبلورات الدقيقة التى يُصنع منها الصخر النارى. تسلك البلورات وكأنها إبر بوصلة دقيقة قد جُمدت ـ واحتُبست في الاتجاه الذى كانت تشير إليه في لحظة تجمد اللافا المصهورة. والآن، فمن المعروف منذ زمن طويل أن قطب الأرض المغناطيسى ليس ثابتا ولكنه يتحرك متجولا، وربما يكون ذلك بسبب نز تيارات بطيئة في مزيج الحديد والنيكل المصهورين في قلب الكوكب. يقع القطب المغناطيسى الشمالى حاليا قرب جزيرة "إيلسمير" في شمال كندا، ولكنه لن يبقى

هناك. حتى يحدد الملاحون الشمال الحقيقى باستخدام بوصلة مغناطيسية، فإنهم يحتاجون إلى اللجوء إلى عامل تصحيح، وهذا العامل يتغير من سنة للأخرى مع عدم إستقرار المجال المغناطيسى للكوكب.

طالما يواصل مخبرنا المحقق بدقة تسجيل الزاوية المضبوطة التى كانت تقبع فيها عينات قلوب الصخر عندما استخرجها بالمثقاب، فإن المجال المغناطيسى المتجمد في كل قلب سيخبره عن وضع المجال المغناطيسى للأرض في اليوم الذى تجمد فيه الصخر من اللافا. والآن هيا بنا إلى الملاحظة الحاسمة. يتفق أن المجال المغناطيسى ينعكس بالكامل على فترات غير منتظمة من عشرات الآلاف أو مئات الآلاف من السنين، ويفترض أن سبب ذلك هو تحولات رئيسية في القلب المصهور المكون من النيكل / الحديد. هكذا فإن ما كان يشكل الشمال المغناطيسى ينقلب إلى موضع قرب القطب الجنوبى الحقيقى، وما كان يشكل الجنوب المغناطيسى ينقلب إلى الشمال. وتلتقط الصخور بالطبع وضع الشمال المغناطيسى المعاصر ليوم تجمد الصخور من اللافا المنبجسة لأعلى من أعماق قاع البحر. كنتيجة لانعكاسات الاستقطاب هكذا كل عشرات قليلة من آلاف السنين، يستطيع جهاز قياس المغناطيسية أن يكشف عن وجود شرائط تجرى بطول صخر الأديم: شرائط نجد فيها أن المجالات المغناطيسية لعينات الصخور تشير كلها لاتجاه واحد، في تناوب مع أشرطة نجد فيها أن المجالات المغناطيسية تشير كلها للاتجاه المضاد. يلون مخبرنا هذه الأشرطة باللون الأبيض والأسود فوق الخريطة وعندما ينظر إلى هذه الشرائط فوق الخريطة "يجد" أنها تشبه بصمة الإصبع، ويلاحظ فيها نمطا لا يمكن إخطاؤه. وكما يحدث بالنسبة لأشرطة الألوان الإضافية التى تدل على العمر المطلق للصخور، فإن أشرطة البصمات المغناطيسية على الجانب الغربى من حيد الأطلنطى الأوسط تشكل صورة مرآة رائعة للأشرطة على الجانب الشرقى. الأمر هو ما نتوقعه بالضبط عندما يكون الاستقطاب المغناطيسى للصخرة قد أرسى

وضعه عندما تجمدت اللافا أولا في الحيد، ثم تحركت بعدها ببطء مبتعدة عن الحيد فـــي اتجـــاهات مضادة، بمعدل سرعة ثابت وبطيء جدًّا. هذا من الأمور الأولية يا عزيزى واطسون.

في عودة للحديث عن المصطلحات العلمية بالفصل الأول، فإن تحول الصورة المرسومة لفرض فيجنر عن الانجراف القارى إلى النظرية الحديثة لتكتونيات الألواح، يعطينا مثلا نموذجيا لترسيخ فرض فيه إغواء ليتحول إلى متبرهنة أو حقيقة مقبولة على نحو شامل. تكتونيات الألواحِ لها أهميتها في هذا الفصل، لأنه لا يمكن لنا بدونها أن نفهم فهما كاملا توزيع الحيوانات والنباتات فوق قارات وجزر العالم. عندما تكلمت عن العازل الجغرافى الابتدائى الذى يفصل بين نوعين ابتدائيين، طرحت وقوع زلزال يحول مجرى أحد الأنهار. كان في استطاعتى أن أذكر أيضا قوى تكتونيات الألواح، التى تقسم إحدى القارات إلى اثنتين، وتنقل كل من القطعتين الماردتين في اتجاه مضاد، وكل منهما مكتملة براكبيها من الحيوان والنبات – هذه سفن فلك من القارات.

كانت مدغشقر وأفريقيا معا ذات مرة جزءا من القارة الجنوبية العظمى جوندوانا، ومعهما أيضا أمريكا الجنوبية، وقارة القطب الجنوبى أنتاركتيكا، والهند وأستراليا. بدأت جوندوانا تتكسر – ببطء مزعج حسب معايير إدراكنا – وذلك منذ ١٦٥ بليون سنة. عند هذه النقطة انفصلت مدغشقر التى كانت لا تزال تتصل بالهند، وأستراليا وأنتاركتيكا في شرق جوندوانا، وشدت بعيدا عن الجانب الشرقى من أفريقيا. وفى حوالى الوقت نفسه انفصلت أمريكا الجنوبية بعيدا عن غرب أفريقيا في الاتجاه الآخر. تكسر شرق جوندوانا نفسها في وقت لاحق نوعا، وأصبحت مدغشقر في النهاية منفصلة عن الهند منذ ما يقرب من ٩٠ مليون سنة.

كل جزء تشظى من أجزاء جوندوانا القديمة حمل معه بضاعته من الحيوانات والنباتات. هكذا كانت مدغشقر سفينة "فلك" حقيقية، والهند فلكا آخر. وكمثل، فإن من المحتمل أن أسلاف النعام والطيور الضخمة كالفيل كان أصلها في مدغشقر /الهند عندما كانتا لا تزالا متحدتين. ثم كان أن انفصلتا فيما بعد. تتطور ما كان من هذه الكائنات فوق الطوف العملاق المسمى مدغشقر ليغدو طيورا ضخمة كالفيلة، في حين أن أسلاف النعام أبحرت فوق سفينة الهند الرائعة وبالتالى – عندما اصطدمت الهند مع آسيا وارتفعت جبال الهيملايا – انطلقت هذه الطيور متحررة إلى البر الرئيسي لآسيا، ومن هناك وجدت في النهاية طريقها لأفريقيا، التى تشكل الآن المنتجع الرئيسى المفضل لتدق هذه الطيور أقدامها فوق أرضه (نعم، أخذت الذكور تدق الأرض حقا بأقدامها، لتثير إعجاب الإناث)، أما الطيور الضخمة كالفيلة فإننا بكل أسف لم نعد بعد نراها (ولا نسمعها في مزيد من المآسى، ذلك أنها لو كانت لا تزال تدق الأرض بخطواتها لاهتزت الأرض نفسها حتما). هذه الكائنات العملاقة التى كانت في مدغشقر حيث يفوق حجمها كثيرا حجم أكبر النعام هي فيما يحتمل المصدر الأصلى لطائر "الرخ" الأسطورى، الذى يظهر في رحلة السندباد البحرى الثانية. هذه الطيور وإن كان حجمها الكبير يسمح بأن يمتطيها الإنسان، إلا أنها كانت بلا أجنحة، وبهذا فإنها لم تكن تستطيع أبدا أن تحمل السندباد عاليا كما أُشيع[١].

لا يقتصر الأمر الآن على أن النظرية الراسخة بقوة عن تكتونيات الألواح تفسر حقائق عديدة حول توزيع الحفريات والكائنات الحية، بل توفر لنا أيضا هذه

---

(١) الحقيقة أن قوانين الطبيعة بالنسبة لتدرج المقاييس تؤكد لنا أن الطيور الضخمة مثل الفيل لا تستطيع بالمرة أن تمارس طيرانا بأجنحة تخفق بمصدر ما للقوة، ومهما كان مدى جناحها كبيرا. سبب ذلك أن العضلات اللازمة كمصدر قوة لهذه الأجنحة الضخمة يلزم أن تكون عضلات كبيرة جدا لن تتمكن من أن ترفع حملها الخاص بها.

النظرية المزيد من الأدلة عن قدم عمر كوكب الأرض قدما بالغا. وبهذا فإن هذه النظرية هي ولا بد شوكة كبرى في جنب أتباع المذهب التكوينى، أو على الأقل في جنب من يؤمنون منهم بعقيدة "كوكب الأرض صغير السن". كيف يحاولون التغلب على ذلك؟ الحقيقة أنهم يفعلون ذلك بطريقة عجيبة جدا. إنهم لا ينكرون تحرك القارات، ولكنهم يعتقدون أن هذا كله قد حدث بسرعة كبيرة في زمن قريب جدا، زمن فيضان نوح[١]. ربما سيعتقد المرء أن هؤلاء الناس ما داموا يسعدون سعادة ظاهرة برفض الأدلة التى لا تلائمهم مثل وجود أدلة بكم ومدى هائلين على حقيقة التطور، فإنهم سوف يستخدمون أيضا الحيلة نفسها فيما يتعلق بأدلة تكتونيات الألواح. ولكن لا: إنهم على نحو عجيب يتقبلون حقيقة أن أمريكا الجنوبية كانت ذات مرة تندمج في اتحاد محكم مع أفريقيا. يبدو أنهم يعتبرون أن الأدلة على ذلك أدلة حاسمة، حتى وإن كانت الأدلة على حقيقة التطور أقوى منها، ومع ذلك فإنهم ينكرون هذه الأخيرة بسعادة. الأدلة عند هؤلاء الناس لا تعنى إلا الشىء القليل، وهكذا يتساءل المرء لماذا لا يستمرون دائما في السير بنفس الطريقة فينكرون أيضًا كل تكتونيات الألواح.

يطرح جيرى كوين في كتابه "لماذا يعد التطور حقيقة " معالجة أستاذ متمكن للأدلة المستقاة من التوزيع الجغرافى (وهو أمر نتوقعه من المؤلف الكبير لأحسن كتاب مرجعى حديث بشأن التنواع). يطرق جيرى أيضا فوق رأس المسمار فيما يتعلق بولع التكوينيين بتجاهل الأدلة عندما لا تدعم الموقف الذى "يعرفون" من الكتاب المقدس، أنه لا بد وأن يكون على حق، فيقول كوين: "الأدلة البيوجغرافية على التطور هي الآن بالغة القوة بحيث أنى لا أرى الآن أبدا عند التكوينيين أى

---

(١) هذه صورة لافتة للأنظار: أمريكا الجنوبية وأفريقيا تنطلقان سريعا في تباعد أحداهما عن الأخرى بسرعة أكبر من سرعة الإنسان في السباحة، ويستمر ذلك لأربعين يوم متصلة.

كتاب، أو مقال، أو محاضرة تحاول تفنيد هذه الأدلة. التكوينيون ببساطة يدعون أن هذه الأدلة غير موجودة. يتصرف التكوينيون وكأن الحفريات توفر الأدلة الوحيدة على التطور. لا شك أن أدلة الحفريات قوية جدا. تم الكشف عن حفريات تملأ حمولة شاحنات كثيرة بعد زمن داروين، وهذه الأدلة كلها إما أنها تدعم التطور بفاعلية أو أنها تتوافق معه. هناك ما هو أشد قوة، كما سبق أن أكدت، وهو أنه لا توجد حفرية واحدة تتناقض مع التطور. ومع ذلك، فإنه على الرغم من قوة أدلة الحفريات قوة بالغة، إلا أننى أود أن أؤكد ثانية على أنها ليست أقوى ما لدينا من أدلة. حتى إذا كنا لم نعثر أبدا على أى حفرية واحدة، فإن الأدلة المستمدة من الحيوانات الحية الباقية في الوجود لا تزال لها القوة الغالبة للإجبار على استنتاج أن داروين كان مصيبا. المخبر الذى يأتى إلى مشهد الجريمة بعد وقوع الحدث يستطيع أن يكدس أدلة حية باقية في الوجود هي حتى لا تقبل أى جدل لحد أكبر مما تفعله أدلة الحفريات. رأينا في هذا الفصل أن توزيع الحيوانات فوق الجزر والقارات هو بالضبط ما ينبغى أن نتوقعه إذا كانت كلها أبناء عمومة قد تطورت من أسلاف مشتركة عبر فترات زمن طويلة جدا. في الفصل التالى سنقارن الحيوانات الحديثة أحدها مع الآخر، لنلقى نظرة على توزيع الخصائص في المملكة الحيوانية، ونقارن على وجه الخصوص تتابعات الشفرة الوراثية فيها، لنصل إلى الاستنتاج نفسه.

الفصل العاشر

شجرة أبناء العمومة

كل عظم إلى عظمة(*)

يا لروعة الهيكل العظمى للثدييات. لست أعنى أنه جميل بذاته، وإن كنت شخصيا أعتقد ذلك. وإنما أعنى حقيقة أننا نستطيع دائما أن نتحدث عن "الهيكل العظمى للثدييات: حقيقة أن هناك شيئا متشابكا متعقدا هكذا يختلف اختلافا عظيما عبر كل الثدييات في كل أجزائه، بينما هو في الوقت نفسه وعلى نحو بالغ الوضوح يشكل الشىء "نفسه" في كل الثدييات. هيكلنا العظمى كبشر مألوف لنا بحيث لا يحتاج هنا لصورة له، ولكن دعنا ننظر إلى هذا الهيكل العظمى للخفاش. أليس من الرائع ان كل عظمة فيه لها نظير يمكن التعرف عليه في الهيكل العظمى البشرى؟ وهو مما يمكن التعرف عليه، بسبب الترتيب الذى ترتبط به كل عظمة بالأخرى. ما يختلف هو النسب فقط. أيدى الخفاش تضخمت تضخما هائلا (بالنسبة طبعا لحجمه هو الكلى) ولكن لا يمكن لأحد أن يفوته التناظر بين أصابعنا وتلك العظام الطويلة في الأجنحة. من الواضح أن يد الإنسان ويد الخفاش هما نسختان للشىء نفسه - ولا يمكن لأى شخص عاقل أن ينكر ذلك. المصطلح الفنى لهذا النوع من التماثل هو "التشاكل". الجناح الطائر للخفاش "يتشاكل مع اليد القابضة للإنسان". أُخذت أيدى السلف المشترك هي وباقى الهيكل العظمى، وتم شدها أو ضغطها، جزءا بعد جزء، في اتجاهات مختلفة، وبقدر مختلف، بطول خطوط سلالات مختلفة.

(*) استشهاد من سفر حزقيال ٣٧- ٨. (المترجم)



الهيكل العظمى لخفاش

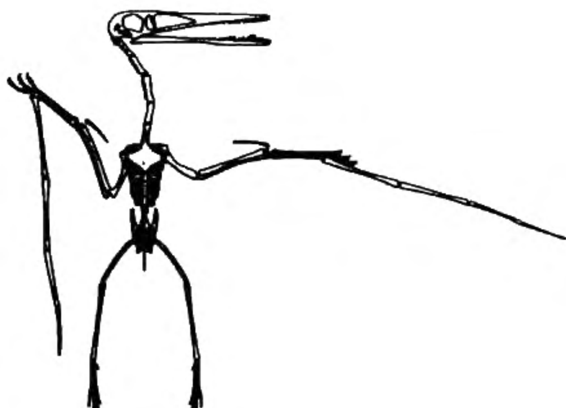
ينطبق الشيء نفسه – وإن كان ذلك مرة أخرى بنسب مختلفة – على جناح "البتيروداكتيل، pterodactyl"(*) (وهو وإن لم يكن ثدييا إلا أن المبدأ لا يزال ينطبق عليه، مما يجعل الأمر كله أكثر إثارة للإعجاب). غشاء جناح البتيروداكتيل يحمله إلى حد كبير إصبع وحيد، يمكننا أن نسميه بأنه الإصبع "الصغير" أو "الخنصر". أعترف بأنى أصاب بعصاب يثيره التشاكل عندما أرى كيف يتحمل الأصبع الخامس عبء ثقل كهذا، ذلك أن هذا الأصبع عند الإنسان يبدو هشا للغاية. هذا فيه بالطبع سخافة؛ لأن الإصبع الخامس عند البتيروداكتيل أبعد من أن يكون "صغيرا"، فهو قد مط لما يقرب من معظم طول الجسد، فيما يُفترض سيحس البتيروداكتيل بمتانته وقوته مثلما نحس نحن بذراعنا. إلا أنه مرة أخرى فيه

(*) حيوان منقرض من الزواحف المجنحة. (المترجم)

ما يوضح النقطة التى أتناولها. يتم للإصبع الخامس "تعديله" ليحمل غشاء الجناح. تغدو التفاصيل كلها مختلفة، ولكنه لا يزال يمكن التعرف عليه كالإصبع الخامس بسبب علاقته من حيث المكان بالعظام الأخرى للهيكل العظمى. هذه الدعامة المتينة الداعمة للجناح "تتشاكل" مع إصبعنا الصغير. كلمة "الإصبع الصغير" في لغة البتيروداكتيل تعنى "دعامة هائلة قوية".

بالإضافة للحيوانات التى تطير حقا – الطيور، والخفافيش، والبتيروسورات، والحشرات – هناك حيوانات أخرى كثيرة تنزلق: وهذه العادة قد تخبرنا ببعض شيء حول أصول الطيران الحقيقى. لهذه الحيوانات أغشية انزلاق، تحتاج إلى دعم من الهيكل العظمى؛ ولكن هذا الدعم لا يلزم أن يأتى من عظام الأصابع كما يحدث في أجنحة الخفافيش وحيوانات البتيروسور. حيوانات السنجاب الطائر (وهى مجموعتان مستقلتان من القوارض)، وحيوانات "الفلنجر[*]، "Phalanger (كيسيات أسترالية تكـاد تماثل بالضبط حيوانات السنجاب الطائر ولكنها ليست على علاقة قرابة وثيقة بها) يُمط فيها غشاء من الجلد بين الأذرع والسيقان. لا حاجة هنا لأى أصبع فردية لحمل عبء كهذا، وهى ليست متضخمة. أعتقد أنى مع ما لدى من عصاب من إصبعى الصغير، سأكون أسعد كسنجاب طائر أكثر مما لو كنت بتيروداكتيل؛ لأن شعورى سيكون أكثر "رضا" عندما أستخدم كل الذراعين وكل الساقين في مهمة لحمل الأثقال كهذه.

(*) حيوان أسترالى يتراوح حجمة بين الفأر والقط. (المترجم)



الهيكل العظمى للبتيروداكتيل

الشكل التالى يبين الهيكل العظمى لما يسمى بالسحلية الطائرة، وهى حيوان آخر من حيوانات الغابة البارعة في الانزلاق. يستطيع القارئ أن يرى في التو أن ما تم تعديله هنا هو الأضلع وليس الأصابع أو الأذرع أو السيقان، وقد عُدلت لتحمل "الأجنحة" – أو أغشية الطيران. مرة أخرى فإن مشابهة الهيكل العظمى ككل للهياكل العظمية الأخرى للفقاريات واضحة وضوحا كاملا. يستطيع المرء أن يمر بكل عظمة الواحدة بعد الأخرى، ويحدد بالضبط في كل حالة العظمة المناظرة لكل منها في الهيكل العظمى للإنسان أو الخفاش أو البتيروسور.



الهيكل العظمى "للسحلية الطائرة"

يوجد في غابات جنوب شرقى آسيا حيوان الكولوجو أو ما يسمى "بالليمور الطائر" وهو يشبه السنجاب الطائر والفلنجر الطائر، فيما عدا أن الذيل وكذلك الأذرع والسيقان مضمنة في بنية دعامة غشاء الطيران. لا يبدو هذا لى أمرا مناسبًا، لأنى لا أستطيع أن أتخيل كيف يكون الحال عندما لا يوجد ذيل مطلقا، وإن كنا نحن البشر مع كل القردة العليا الأخرى التى "لا ذيل لها" لا يزال لدينا أثر لذيل مدفون تحت الجلد هو العصعص. نحن القردة العليا نكاد نكون بلا ذيل، وهكذا فإنه يصعب علينا أن نتصور ما لا بد وأن يبدو الأمر عليه لو كان الواحد منا قرد عنكبوتى(*)، يسود ذيله على العمود الفقرى بأكمله. يستطيع القارئ أن يرى من الصورة في ص ١٨٥ الملونة كيف أن ذيله بالغ الطول حتى أنه أطول من ذراعيه وساقيه الطويلين بالفعل. ذيل القرد العنكبوتى كما هو الحال في الكثير من قرود العالم الجديد (بل كما هو الحال حقا في الكثير من ثدييات العالم الجديد عموما كحقيقة غريبة يصعب تفسيرها)، هو ذيل معد لوظيفة "الإمساك"، بمعنى أنه قد تم تعديله ليقبض على الأشياء، ويكاد يبدو وكأنه قد انتهى إلى يد إضافية، وإن لم يكن متشاكلا مع اليد الحقيقية، وليس له أصابع. الحقيقة أن ذيل القرد العنكبوتى يشبه كثيرا أن يكون ساقا أو ذراعا إضافيا.

لعلى لست في حاجة لأن أوضح الرسالة ثانية. الهيكل العظمى في الأساس من هذا الذيل يماثل ما يوجد في ذيل أى ثديي آخر، ولكنه قد تم تعديله لأداء مهمة مختلفة. حسن، الذيل نفسه ليس متماثلا تماما: ذيل القرد العنكبوتى له علاوة إضافية من الفقرات، إلا أن من الواضح أن هذه الفقرات نفسها هي من النوع نفسه مثل الفقرات في أى ذيل آخر، بما فيه عصعصنا. هل تستطيع أن تتصور ما تبدو عليه لو كنت قردا بخمسة "أيادى" قابضة – يد عند نهاية كل ساق وكذلك عند نهاية

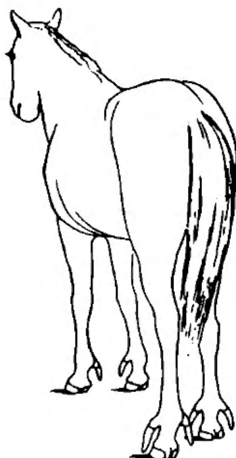
(*) القرد العنكبوتى: قرد أمريكى استوائى له ذيل طويل يلتف حول الأغصان. (المترجم)

كل ذراع، ثم ذيل – ويمكنك أن تتدلى بسعادة مستخدما أى من هذه الأيدى ؟ أنا شخصيًا لا أستطيع تصور ذلك. ولكنى أعرف أن ذيل القرد العنكبوتى يتشاكل مع عصعصى، بما يماثل تماما أن العظمة البالغة الطول والقوة لجناح البتيرو داكتيل تتشاكل مع إصبع يدى الصغير.

هاكم حقيقة مذهلة أخرى. حافر الحصان يتشاكل مع ظفر الإصبع الوسطى ليدك (أو ظفر إصبع القدم الوسطى). الخيل تمشى على طرف إصبع القدم بالمعنى الحرفى للكلمة، وذلك بخلافنا نحن عندما نمشى على "ما نسميه" طرف الإصبع. الخيل قد فقدت بالكامل تقريبا الأصابع الأخرى للقدم واليد. أصبع الحصان الذى يتشاكل مع إصبع إبهامنا وإصبع بنصرنا، ومرادفات ذلك في سيقان الحصان الخلفية، كلها تبقى موجودة "كشظايا" عظمية دقيقة، متصلة بعظمة "القصبة" في القوائم وليست مرئية خارج الجلد. عظمة القصبة تتشاكل مع عظمة المشط الوسطى المدفونة في يدنا (أو عظمة المشط المدفونة في قدمنا). يتم تحميل كل ثقل الحصان على الأصابع الوسطى لليد والقدم، وهذا له أهمية بالغة في حالة حصان الجر الإنجليزى والأسكتلندى. تشاكل التركيب مثلا مع أصابعنا الوسطى أو أصابع الخفاش أمر واضح باكامل. لا يمكن أن يشك أحد في ذلك؛ ويحدث، وكأنما لزيادة تأكيد الأمر، أن تولد أحيانا خيل شاذة لها ثلاثة أصابع في كل ساق (polydactylic)، يقوم الأوسط منها بوظيفة "قدم" طبيعية، بينما الأصبعان الجانبيان لديهما حوافر منمنمة (انظر الصورة التالية).

هل تستطيع أن ترى مدى جمال هذه الفكرة، فكرة أن تتم تعديلات تكاد تكون لا نهائية عبر أزمنة هائلة، وكل شكل معدل يُبقى على آثار للأصل لا يمكن إخطاؤها؟ كم أمجّد تلك الليتوبتيرنات (litopterns)، عاشبات أمريكا الجنوبية المنقرضة، وهى حيوانات ليست على أى علاقة وثيقة بأى من الثدييات الحديثة، وتختلف جدا عن الخيل – فيما عدا أن لها تقريبا سيقان وحوافر متماثلة. تطورت

الخيل (في أمريكا الشمالية)[1] والليتوبترونات (في أمريكا الجنوبية، التى كانت في تلك الأيــام جزيــرة ضخمة، بينما برزخ بنما لا يزال في المستقبل البعيد) وتطور كل منهما مستقلا بأن اتبعا بالضبط نفس الاختزال لكل أصابع اليد والأقدام فيما عدا الأصبع الوسطى، وانبثقت فيهما حوافر متماثلة عند نهاية هذا الإصبع. فيما يفترض، ليست هناك مطلقا طرقا كثيرة تستخدمها الثدييات العاشبة لتصبح سريعة العدو. توصلت الخيل والليتوبترونات للطريقة نفسها – اختزال كل الأصابع فيما عدا الإصبع الوسطى – ووصل كلاهما بذلك إلى النهاية نفسها. البقر والظباء وقعت على حل آخر، هو اختزال كل الإصابع عدا اثنتين.



حصان بوليداكتيلى

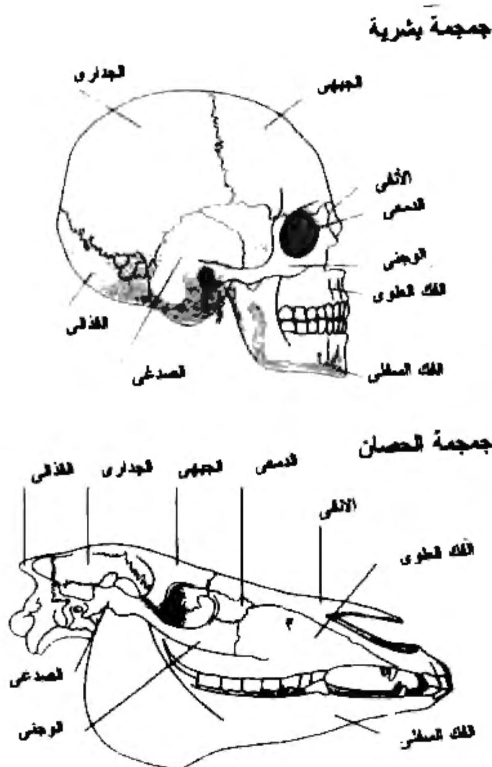
(١) قد يدهش القارئ عندما يسمع أن الخيل تطورت في أمريكا الشمالية، ذلك أن من الشائع أن يقال عن الغزاة الأوروبيين أنهم عند أول وصولهم للأمريكتين، ذهل السكان المحليون لرؤيتهم فوق ظهور الخيل. الحقيقة أن الجزء الأكبر من تطور الحصان حدث في أمريكا وانتشرت بعدها الخيل لباقى العالم، وذلك في وقت يسبق بزمن قصير (بالمعايير الجيولوجية) انقراضها في أمريكا. الخيل حيوانات أمريكية تمت إعادة إدخالها لأمريكا بواسطة الإنسان.

فيما يلى إفادة تبدو متناقضة، إلا أن في استطاعة القارئ أن يدرك كيف أنها معقولة، وأن يدرك أيضا مدى أهميتها كملاحظة. حسب هذه الإفادة الهياكل العظمية لكل الثدييات متماثلة، ولكن عظامها المفردة تختلف. حل هذا التناقض يكمن في استخدامى بحساب لكلمة "الهيكل العظمى" على أنها "تجمّع" للعظام، في ارتباط منظم إحداها بالأخرى. بهذه النظرة لا تكون أشكال العظام المفردة خصائص "للهيكل العظمى" بأى حال. "الهيكل العظمى" بهذا المعنى الخاص، يتجاهل أشكال العظام المفردة، ويهتم فقط بالنظام الذى ترتبط معا به: "كل عظم إلى عظمة" حسب كلمات حزقيال، والأكثر حيوية من ذلك ما ورد في الأغنية التى تتأسس على هذه الفقرة:

يوصّل عظم إصبع قدمك إلى عظم قدمك،
يوصل عظم قدمك إلى عظم كاحلك،
يوصل عظم كاحلك إلى عظم ساقك،
يوصل عظم ساقك إلى عظم ركبتك،
يوصل عظم ركبتك إلى عظم فخذك،
يوصل عظم فخذك إلى عظم حوضك،
يوصل عظم حوضك إلى عظم ظهرك،
يوصل عظم ظهرك إلى عظم رقبتك،
يوصل عظم رقبتك إلى عظم قذالك،
ها أنذا أسمع كلمة الرب !

النقطة المهمة هنا هي أن هذه الأغنية يمكن أن تنطبق حرفيا على أى حيوان ثديي، بل في الحقيقة على أى حيوان فقارى برّى، وهى تنطبق بتفاصيل أكثر إلى حد بعيد مما تطرحة الكلمات. وكمثل، فإن "عظم رأسك" أو جمجمتك تحوى ثمانى وعشرين عظمة، معظمها تتصل معا "بدروز صلبة"، إلا أن هناك عظمة رئيسية

واحــدة متحركة هي (الفك الأسفل)[1]. الأمر الرائع هي أنه مع ظهور أو اختفاء عظمة شاذة هنا أو هناك، تظل توجد في كل الثدييات المجموعة نفسها من العظام الثماني والعشرين.



يوَصل عظم رقبتك إلى عظم قذالك

---

(١) يشكل هذا الفك عظمة وحيد ة في الثدييات. الفك الأسفل في الزواحف أكثر تعقيدا من ذلك – وبالتالى فإن له قصة فاتنة أغفلتها كارها في هذا الكتاب (إنك لا تستطيع أن تنال كل شيء). في إنجاز فذ لإحدى الحيل التطورية نجد أن العظام الصغرى للفك الأسفل للزواحف يتم ضمها داخل أذن الثدييات، حيث تشكل جسرا رهيفا ينقل الصوت من طبلة الأذن إلى الأذن الداخلية.

يوصل عظم قذالك إلى عظمك الجدارى

يوصل عظمك الجدارى إلى عظمك الجبهى

يوصل عظمك الجبهى إلى عظمك الأنفى

....

يوصل عظمتك السابعة والعشرين إلى الثامنة والعشرين...

يتماثل هذا كله في الثدييات، بصرف النظر عن حقيقة أن أشكال عظام معينة تختلف اختلافا جذريا في الثدييات المختلفة.

ما الذى نستنتجه من هذا كله ؟ قد حددنا هنا أنفسنا بالحديث عن الحيوانات الحديثة، وبهذا فإننا لا نرى التطور وهو يُحدث فعله. نحن المحققون الذين وصلوا متأخرين إلى المشهد. نمط المشابهات بين الهياكل العظمية للحيوانات الحديثة هو بالضبط النمط الذى ينبغى أن نتوقعه إذا كانت كلها تنحدر من سلف مشترك، على أن بعضها يكون أحدث في ذلك من الآخرين. ظل الهيكل العظمى السلفى يُعَّدل تدريجيا عبر العصور. وكمثل، فإن بعض أزواج من الحيوانات كالزراف والأكاب(*) (okap) تتشارك في سلف حديث. لن يكون من الصحيح على نحو دقيق أن نصف الزرافة بأنها نوع من الأكاب قد مُط رأسيا، ذلك أنهما كلاهما من الحيوانات الحديثة. إلا أنه سيعد من حسن التخمين القول بأن السلف المشترك بينهما ربما يبدو مشابها للأكاب أكثر من مشابهته للزراف (وهذا أمر يتفق أن تدعمه أدلة الحفريات، ولكننا في هذا الفصل لا نتحدث عن الحفريات). يماثل ذلك أن حيوانات الإمبالة (impala)(**) والنو (gnu)(***)(1) هى أبناء عمومة وثيقة أحدها

(*) الأكاب: حيوان أفريقى من فصيلة الزرافة ولكن عنقه غير طويل. (المترجم)

(**) الإمبالة ظبى أفريقى أحمر الجلد ولذكوره قرون مقوسة ومشقوقه. (المترجم)

(***) النو حيوان أفريقى له رأس كالثور بقرنين معقوفين، وذيله طويل. (المترجم)=

للآخر، وأبناء عمومة بدرجة أبعد قليلا للزراف والأكاب. كل هذه الحيوانات الأربع هي بدرجة أبعد مما سبق أبناء عمومة للحيونات الأخرى ذات الحافر المشقوق، مثل الخنازير والخنازير الوحشية الأفريقية (وهى أبناء عمومة أحدها مع الآخر ومع حيوانات البكّرى "peccary" (*). الحيوانات المشقوقة الحافر كلها بدرجة أبعد مما سبق، أبناء عمومة للخيل وحمر الوحش (التى ليس لها حوافر مشقوقة وهى أبناء عمومة وثيقة أحدها مع الآخر). نستطيع مواصلة ذلك لأى مدى نشاء، ونجمع بين قوسين أزواجا من أبناء العمومة في مجموعات، ثم مجموعات من مجموعات أبناء العمومة، و(مجموعات من مجموعات) (لمجموعات من أبناء العمومة). قد اندفعت منزلقا في استخدام الأقواس أوتوماتيكيا وأنا أعلم أن القارئ يعرف بالضبط ما تعنيه هذه الأقواس. معنى الأقواس فيما يلى واضح مباشرة للقارئ، لأنه يعرف من قبل كل شيء عن أبناء العمومة الذين يتشاركون في الأجداد، وأبناء العمومة من الدرجة الثانية الذين يتشاركون في آباء الأجداد، وهلم جرا:

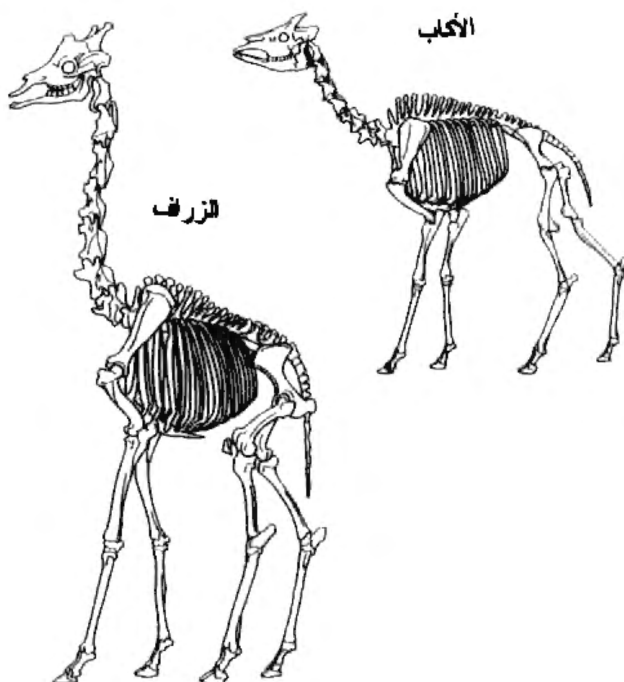
قد ضمنت فيما قلت أن شجرة التشابهات هي حقا شجرة عائلية، ولكن هل نحن مجبرون على هذا الاستنتاج ؟ هل هناك أى تفسيرات تبادلية ؟ حسن، لا يكاد يكون هناك إلا أقل القليل! أدرك أتباع المذهب التكوينى في زمن ما قبل داروين ما يوجد من نمط تراتبى في هذه التشابهات، وكان لديهم بالفعل تفسير غير تطورى – تفسير بعيد الاحتمال تماما بما يثير الارتباك. أنماط المشابهة في رأيهم تعكس أفكارا لموضوعات تصميم رئيسية. هناك أفكار مختلفة عن طريقة صنع الحيوانات. تدور بعض هذه الأفكار حول موضوع الثدييات، وتدور أفكار مستقلة أخرى حول موضوع الحشرات. في الداخل من موضوع الثدييات تنقسم أفكار التصميم انقساما

---

(١) يتزايد استخدام مصطلح "الثور الوحشى الهولندى" مفضلا على "النو" على أنى أحاول إنقاذ مصطلح "النو" لأنه لو مات تماما، لن يكون هناك بعد أى معنى للأغنية الفكهة لفلاندرز وسوان التى ترد فيها كلمة النو.

(*) البكرى حيوان أمريكى يشبه الخنزير وله شعر قاس طويل داكن. (المترجم)

ثنائيا بارعا تراتبيا إلى موضوعات فرعية (تدور مثلا حول موضوع الحوافر المشقوقة) ثم حول موضوعات تتفرع من الفرعية (تدور مثلا حول موضوع الخنزير). هناك في هذا عنصر قوى من التفكير بالتمنى ومن التماس حجج دفاع خاصة، والتكوينيون حاليا نادرا ما يلجأون إلى ذلك. بل الحقيقة أنهم يلجأون هنا إلى نفس ما يفعلونه بالنسبة للأدلة المستقاة من التوزيع الجغرافى التى ناقشناها في الفصل الأخير، فهم نادرا ما يناقشون بأى حال أدلة الأبحاث المقارنة، مفضلين عن ذلك التمسك بآرائهم عن الحفريات حيث تعلموا (خطأ) أنها تشكل لهم مجالهم الواعد.



{ (ذئب ثعلب) (أسد نمر) } {(زراف أكاب) (إمبالا نو) }
يشير كل شيء إلى شجرة أسلاف تتفرع ببساطة – شجرة عائلية.

أى إنسان له إدراك ويعمل في وضع التصميمات سيكون سعيدا كل السعادة عندما يقترض فكرة من أحد اختراعاته ليضعها في اختراع آخر إن كانت مفيدة له. ربما يكون العمل في "موضوع" تصميم طائرة يجرى منفصلا عن العمل في "موضوع" تصميم قطار. على أن أحد العناصر في الطائرة، كما مثلا بالنسبة لتصميم أفضل لأضواء القراءة فوق المقاعد، قد يكون مفيدا أيضا عندما يتم اقتراضه ليستعمل في القطارات. ولم لا، إن كان سيخدم فيهما كليهما الهدف نفسه؟ عندما اختُرعت السيارات في أول أمرها كان اسمها "عربات بلا جياد" وهو اسم ينبئنا ببعض مصادر الإلهام بالسيارة. إلا أن العربات التى تسوقها الخيل لا تحتاج إلى عجلة قيادة – فنحن نستخدم الأعنة لتوجيه الخيل، وإذن فلا بد وأن عجلة القيادة لها مصدر آخر. لست أعرف من أين أتت عجلة القيادة، ولكنى أظن أنها تم اقتراضها من تكنولوجيا مختلفة تماما، تكنولوجيا القارب. قبل أن تسود عجلة القيادة التى أُدخلت حوالى نهاية القرن التاسع عشر، كانت أداة التوجيه الأصلية للسيارة هي ذراع التوجيه، الذى تم اقتراضه أيضا من القوارب، ولكنه نقل من المؤخرة إلى مقدمة العربة.

إذا كان الريش فكرة جيدة داخل "موضوع" الطيور، بحيث أن كل طير بلا استثناء لديه ريش، سواء كان يطير أو لا يطير، لماذا نجد أن الثدييات كلها بالمعنى الحرفى ليس لديها ريش ؟ لماذا لا يتم اقتراض هذا الاقتراح الفذ من الريش لنجده ولو في خفاش واحد على الأقل ؟ إجابة أى تطورى عن ذلك هى إجابة واضحة. الطيور كلها قد ورثت ريشها من سلفها المشترك، الذي كان لديه ريش. ليس هناك حيوان ثديي ينحدر من هذا السلف. الأمر بهذه البساطة[1]. شجرة المشابهات شجرة

---

(١) فيما أفترض فإن قرائن لديهم من المعرفة ما هو أفضل مما ورد في كتاب اللاويين في العهد القديم، حيث يُعتقد أن الخفافيش من الطيور. هناك في الإصحاح ١١، بالآيات من ١٣– ١٩،=

عائلية. القصة تكون هي نفسها بالنسبة لكل فرع في شجرة الحياة ولكل فرع تحت فرعى، ولكل فرع يتفرع من الفرع تحت الفرعى.

نصل الآن إلى نقطة مثيرة للاهتمام. هناك أمثلة كثيرة، جميلة يبدو فيها ظاهريا وكأن هناك أفكارا ربما تكون قد "اقترضت" من جزء من الشجرة ليطعم بها جزء آخر، بمثل تطعيم نوع مغاير من التفاح على جذل شجرة. الدرفيل حوت صغير، وهو يبدو ظاهريا مثل الأنواع المختلفة من السمك الكبير. إحدى هذه الأسماك، واسمها "كورفينا هيبوريس، *Coryphana* hippuris " أو سمكة أبو سيف، توصف أحيانا بأنها من "الدرافيل". أسماك أبوسيف والدرافيل الحقيقية لها الشكل الانسيابى نفسه، بما يلائم طرائقهما المتماثلة في الحياة كحيونات صيادة سريعة قرب سطح البحر. إلا أن تكنيك السباحة عندهما وإن كان ظاهريا متماثلا ولكنه تكنيك لم يقترضه الواحد منهما من الآخر، كما يمكن للقارئ أن يدرك سريعا عندما ينظر في التفاصيل. على الرغم من أنهما كليهما يستقيان سرعتهما في غالبها من الذيل، إلا أن سمكة أبى سيف تحرك ذيلها مثل كل السمك من جانب للآخر. أما الدرفيل الحقيقى فيكشف عن أصله الثديى بأن يضرب بذيله لأعلى وأسفل. الانتقال بحركة التموج من جنب للآخر من خلال العمود الفقرى للسمك السلف قد ورثتها السحالى والثعابين التى يمكن القول بأنها تكاد "تسبح" فوق الأرض. دعنا نقارن مدى تباين ذلك مع عدو الحصان أو فهد الشيتا. السرعة هنا تأتى أيضا من انحناء العمود الفقرى كما يحدث مع السمك والثعابين؛ إلا أن العمود الفقرى في حالة الثدييات ينحنى لأعلى وأسفل وليس من جانب للآخر. إنه لمما يثير الاهتمام أن

= قائمة طويلة بالطيور التى تُعد مكروهة، تبدأ بالنسر وتنتهى "باللقلق والببغاء على أجناسه، والهدهد والخفاش ". ثمة سؤال عن ذلك حول السبب في أن يكون من الضرورى إدانة أى حيوانات على أنها كريهة. على أن هذه ممارسة شائعة في ديانات كثيرة.

نجيب عن السؤال عن الطريقة التى حدث بها هذا التحول في أسلاف الثدييات. ربما كان هناك كائن توسطى لا يكاد يحدث له انحناء في عموده الفقرى في أى من الاتجاهين، مثل الضفدعة. ومن الناحية الأخرى، فإن التماسيح لها القدرة على أن تعدو (عدوا سريعًا بما يخيف) كما أن لها القدرة أيضا على استخدام طريقة مشى مثل مشية السحلية الأكثر تقليدية بين الزواحف. أسلاف الثدييات لا يشابهون التماسيح في شيء، إلا أن التماسيح ربما فيها ما يوضح لنا كيف أن سلفا توسطيا ربما كان يجمع بين طريقتى المشى.

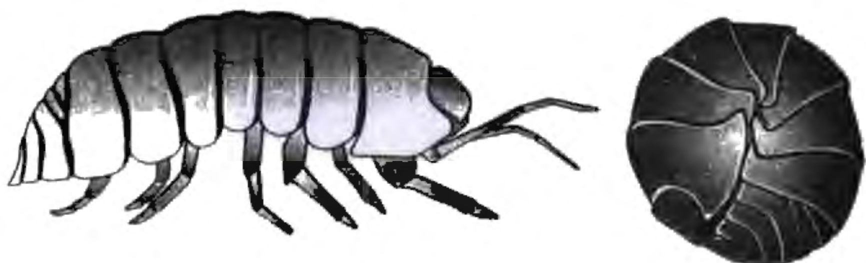
على أى حال فإن أسلاف الحيتان والدرافيل كانت ثدييات أرضية بالمعنى الكامل، ومن المؤكد أنها كانت تعدو عبر المروج والصحارى ومناطق التندرا مع ثنى العمود الفقرى لأعلى وأسفل. وعندما عادت الحيتان والدرافيل إلى البحر، احتفظت بحركة العمود الفقرى عند أسلافها لأعلى وأسفل. إذا كانت الثعابين "تسبح" فوق الأرض، فإن الدرافيل "تعدو" خلال البحر! وبالتالى، فإن فصوص ذنب الدرفيل قد تشبه ظاهريا الذيل المشقوق لسمك أبى سيف، ولكنها تتخذ وضعها أفقيا، في حين أن زعانف ذيل أبى سيف تنتظم بمستوى رأسى. هناك جوانب أخرى عديدة يظهر فيها تاريخ الدرفيل مسطورا عليه كله، وسوف آتى لها في فصل بهذا العنوان.

هناك أمثلة أخرى تظهر فيها مشابهة ظاهرية إلى حد بالغ يبدو معه أن من الصعب رفض فرض "الاقتراض"، إلا أن الفحص المدقق يبين لنا أنه يجب رفضه. من الممكن أن تبدو الحيوانات متشابهة لدرجة كبيرة حتى أننا نشعر بأنها ولا بد على صلة قرابة. ولكن لا يلبث أن يثبت في النهاية أن أوجه التشابه وإن كانت تثير الاعجاب إلا أننا نجد اختلافات تفوقها عددا عندما ننظر إلى الجسد كله. حمار قبان دويبات صغيرة مألوفة (انظر الشكل التالى) لها أرجل كثيرة. وهى عادة تلتم في

شكل كرة للحماية، مثلما تفعل حيوانات المدرّع (armadillo). والحقيقة أن هذا قد يكون مصدر اسمها اللاتينى "أرماديلليديوم، *Armadillidium*. هذا اسم لنوع واحد من دويبة "حمار قبان، pillbug" هو نوع من القشريات، وله صلة قرابة بالجمبرى أو الروبيان، ولكن أفراده تعيش فوق الأرض – وتكشف عن أن لها سلف مائى حديث لأنها تتنفس بواسطة خياشم يلزم أن تبقى رطبة. على أن النقطة المهمة في هذه القصة هي أن هناك نوعا مختلف تماما من "حمار قبان"، ليس من القشريات بالمرة وإنما هو نوع من دودة ألفية (millipede). عندما ترى الاثنين وهما متكوران ستعتقد أنهما يتطابقان تقريبا. إلا أن أحدهما حمار قبان قشرى معدل، بينما الآخر حمار قبان من دودة ألفية معدلة (معدلان في الاتجاه نفسه). إذا فككت تكورهما ودقّقت النظر سترى في التو اختلافا مهما واحدا على الأقل. حمار قبان الدودة الألفية لديه زوجان اثنان من السيقان في أغلب حلقاته، وحمار قبان القشرى لديه زوج واحد لكل حلقة. أليس هذا رائعا، كل هذه التعديلات اللانهائية ؟ سيبين لنا الفحص التفصيلى الأدق كيف أن حمار قبان الدودة الألفية يشبه بالفعل الدودة الألفية التقليدية في مئات الجوانب. هكذا فإن المشابهة مع حمار قبان القشرى ظاهرية ومتلاقية.

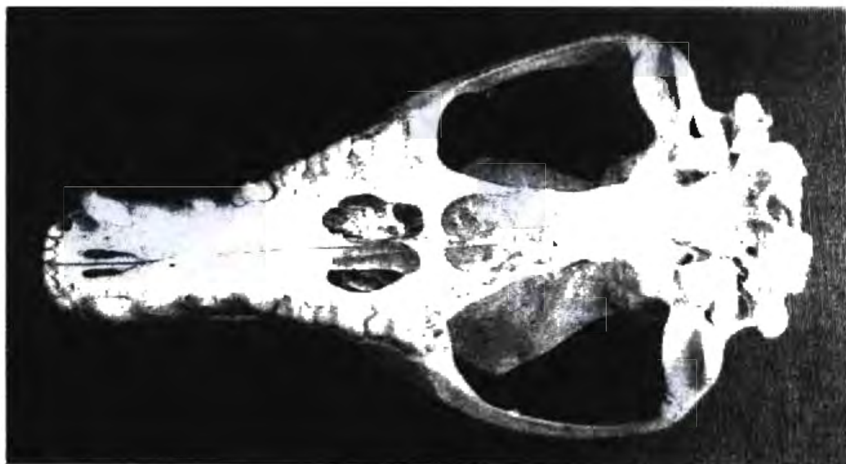



حمار قبان دودة ألفية



حمار قبان قشرى

أى عالم حيوان ليس متخصصا إذا رأى صورة الجمجمة التالية لذلك سيقول عنها غالبا أنها تنتمى لكلب. عالم الحيوان المتخصص سيكتشف أنها في الحقيقة ليست جمجمة كلب وذلك عندما يلاحظ الثقبين البارزين في سقف الفم. هذه علامات دالة على سبق أن تناولت مجموعة الحيوانات الثديية الكيسية الرائعة الخاصة بأستراليا في الفصل الذى يدور حول التوزيع الجغرافى للحيوانات. النقطة المهمة فيما يتعلق بها في هذا الفصل هي الالتقاءات المتكررة بين هذه الكيسيات هي وعدد هائل متنوع من الحيوانات المقابلة لها بين الثدييات المشيمية (أى غير الكيسية) التى تغلب على سائر العالم. على الرغم من أن هذه الكيسيات أبعد من أن تتطابق مع مرادفها المشيمى، إلا أنه حتى في الصفات الظاهرية، كما نجد في الصور التوضيحية التالية، فإن كل حيوان كيسى يشبه بدرجة كافية مرادفه المشيمى – بمعنى الحيوان المشيمى الذى يمارس إلى أقرب درجة "المهنة" نفسها – وهذا الشبه يكون بالدرجة الكافية لإثارة إعجابنا، ولكنها لا تتشابه بدرجة تكفى لأن تطرح وجود عملية "اقتراض" في التصميم.



جمجمة الثيلاسين "ذئب تاسمانيا" أو "نمر تسمانيا"

يحدث للجينات إعادة توزيع في المستودع الجينى عن الطريق الجنسوى، ويمكننا أن نعتبر هذا كنوع من الاقتراض أو المشاركة في "الأفكار" الجينية، إلا أن إعادة التوليف عن طريق الجنس تقتصر على أن تكون داخل نوع واحد وبالتالى فإنها لا علاقة لها بهذا الفصل، الذى يدور حول المقارنات بين الأنواع: كالمقارنة مثلا بين الثدييات الكيسية والمشيمية. مما يثير الاهتمام أن عملية اقتراض دنا تنتشر بدرجة كبيرة بين البكتريا. يحدث هذا في عملية تُعد أحيانا كنوع من عملية تبشير بالتكاثر الجنسى، فيحدث في البكتريا – حتى بين سلالات منها بعيدة في درجة القرابة – أن تتبادل "أفكار" دنا في تسيب وتهتك. "اقتراض الأفكار" هو حقا إحدى الطرائق الرئيسية التى تختار بها البكتريا "الحيل" التى تفيدها، كما مثلا في مقاومة مضادات حيوية معينة.

الكيسيات   **المشيميات**


النومبات
(آكل الأرضة الاسترالى)


آكل النمل


الفلنجر الطائر

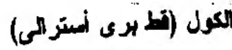

السنجاب الطائر

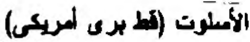

الخلد الكيسى


الخلد


الفأر الكيسى


الفأر








الثيلاسين


الذئب

كثيرا ما تسمى هذه الظاهرة باسم غير دال نوعا وهو "التحول، transformation". سبب ذلك أنه عندما اكتشف فردريك جريفيث هذه الظاهرة في ١٩٢٨ لم يكن أحد وقتها يفهم شيئا عن دنا. كان ما وجده جريفيث أن سلالة غير فوعية من "الستربتوكوكس، Streptococcus" (المكورات السبحية) يمكن أن تلتقط صفة الفوعية من سلالة مختلفة تماما، حتى وإن كانت هذه السلالة الفوعية ميتة. نحن نقول الآن أن السلالة غير الفوعية تدمج في جينومها بعض دنا من السلالة الفرعية الميتة (دنا لا يهمه أن تكون "ميتة"، فهذه فحسب معلومات مشفرة). بلغة من هذا الفصل سنقول أن السلالة غير الفوعية قد "اقترضت" من السلالة الفوعية "فكرة" جينية. عندما تقترض البكتريا جينات من بكتريا أخرى فإن هذا بالطبع أمر يختلف تماما عن أن تُقترض عند التصميم بعض أفكار من "أحد الموضوعات الرئيسية" ليعاد استخدامها في موضوع رئيسى آخر. ومع ذلك سيكون الاقتراض مثيرا للاهتمام لو كان شائعا في الحيوانات بمثل شيوعه في البكتريا لأنه هكذا سيزيد من صعوبة تفنيد فرض "الاقتراض عند التصميم". ماذا لو كانت الخفافيش والطيور تسلك مثل البكتريا من هذا الجانب؟ ماذا لو كان من الممكن نقل شدف من جينوم الطيور، ربما عن طريق العدوى بالبكتريا أو الفيروسات، ليتم زرعها في جينوم الخفاش؟ ربما سيحدث عندها أن نوعا واحدا من الخفافيش ربما سينبجس منه الريش فجأة، كنتيجة لأن معلومات دنا التى تشفر للريش قد تم اقتراضها في نسخة جينية من عملية "النسخ واللصق" في الكمبيوتر.

يبدو أن نقل الجينات في الحيوانات يكاد يختلف تماما عن نقلها في البكتريا، فهو يقتصر على أن يحدث فقط بالاجتماع جنسيا داخل النوع. النوع في الحقيقة يمكن إلى حد كبير أن يعرّف جيدا على أنه مجموعة من الحيوانات تتشارك في نقل

الجينات فيما بينها هي نفسها. عندما يتم انفصال عشيرتين من أحد الأنواع للزمن الكافى لئِلا يستطيعا بعد تبادل الجينات جنسيا (وعادة يكون ذلك بعد فترة ابتدائية من انعزال جغرافى يُفرض قسرا، كما رأينا في الفصل التاسع) عندها نستطيع أن نعّرفهما بأنهما نوعان منفصلا، وأنهما لن يتبادلا أبدا الجينات، إلا إذا كان ذلك بتدخل من الإنسان بالهندسة الوراثية. زميلى جوناثان هود جكن أستاذ الوراثة بأوكسفورد، يعرف فحسب ثلاثة استثناءات مرلوغة للقاعدة بأن نقل الجينات أمر يقتصر على أن يحدث داخل النوع، وذلك في: الديدان الخيطية، وذباب الفاكهة، وفى الدوّارات العلقية(*) (على نحو أكبر).

هذه المجموعة الأخيرة تثير الاهتمام بوجه خاص؛ لأنها تتفرد من بين المجموعات الرئيسية من ذوات النواة الحقيقية بأنها ليس لديها جنس. هل من الممكن أنها استطاعت الاستغناء عن الجنس لأنها قد ارتدّت للطريقة البكترية القديمة لتبادل الجينات؟ انتقال الجينات عبر الأنواع هو فيما يبدو أكثر شيوعا في النباتات. هناك نبات من الحامول اسمه "كوسكوتا، *Cuscuta*" يتطفل على النباتات الأخرى ويهب الجينات لعائله الذى يتشابك مجدولا من حوله(١).

(*) الدوارات العلقية: نوع من أبسط وأصغر الحيوانات المتعددة الخلايا، تعيش في المياه العذبة وتتحرك بما يشبه العجلة الدوارة، ولها صفات تشبه العلق. (المترجم)

(١) اعتاد البيولوجيون الاستشهاد بهيموجلوبين النبات كمثل ممكن لاقتراض النبات لدنا من المملكة الحيوانية. النباتات من فصيلة البازلاء (البقلية) لديها "عقد" فوق جذورها تقطنها بكتريا تحتبس النيتروجين من الجو وتجعله متاحا للنباتات. هذا هو السبب في أن المزارعين كثيرا ما يمضّنون في دورتهم الزراعية محصولا بقليا مثل البرسيم أو نبات من الأعشاب البيقية. فهذا يُبقى في الأرض النيتروجين الثمين، خاصة إذا حُرث محصول البرسيم بأسفل. يكون للعقد لون محمر لأنها تحوى شكلا من الهيموجلوبين يشبه الجزىء الناقل للأوكسجين الذى يجعل لدمنا لونا أحمر. جينات صنع الهيموجلوبين موجودة في جينوم النبات وليس جينوم البكتريا.=



الدوار العلقى

لم يستقر لى رأى بعد حول سياسات الأغذية المعدلة وراثيا، ذلك أن تفكيرى موزع بين الفوائد المحتملة في الزراعة من جانب، وبين غرائز الحذر من الجانب الآخر. إلا أن هناك محاجة لم أسمع بها من قبل تستحق ذكرها هنا بإيجاز. نحن حاليا نلعن الطريقة التى أدخل بها أسلافنا أنواعا من الحيوانات إلى أراضٍ غريبة

- الهيموجلوبين مهم للبكتريا التى تحتاج للأوكسجين ويمكن أن ننظر إليه على أنه جزء من الصفقة بين البكتريا والنباتات: البكتريا تعطى النباتات نيتروجين قابل للاستعمال، في حين تعطى النباتات للبكتريا مأوى، وأوكسجين قابلا للاستعمال يتم تسليمه عن طريق الهيموجلوبين. حيث أننا قد تعودنا الربط بين الهيموجلوبين والدم، فإن من الطبيعى أن نتساءل عما إذا كان هناك جين لصنعه قد تم بطريقة ما " اقتراضه" من جينوم أحد الحيوانات، ربما بنقله بواسطة إحدى الخلايا البكتيرية. سيكون في هذا حقا فكرة قيمة جدا "للاقتراض". لسوء حظ هذه الفكرة الجذابة - فكرة نقل الدم في النهاية - أن أدلة البيولوجيا الجزيئية تبين أن الهيموجلوبينات هي من قدامى السكان المقيمة في جينومات النبات. فهى غير مقترضة، وإنما هي موجودة فيها من قدم الزمان.

عنها لمجرد التسلية. أدخل السنجاب الأمريكى الرمادى إلى بريطانيا بواسطة دوق سابق لبيدفورد: تم هذا في نزوة طائشة نرى الآن أنها سلوك غير مسئول إلى حد كارثى. من المثير للاهتمام أن نتساءل عما إذا كان علماء التاكسونوميا في المستقبل قد يأسفون للطريقة التى عبث بها جيلنا متلاعبا بالجينومات: كأن تُنقل مثلا جينات "مضادة للتجمد" من سمك قطبى إلى الطماطم لحمايتها من الصقيع. اقترض العلماء جينا يمنح قنديل البحر وهجا مفلورا وأدخلوه في جينوم البطاطس، بأمل أن تتوهج البطاطس بالضوء عند حاجتها للإرواء. بل أننى قرأت عن "فنان" يخطط "لتركيب" يتألف من كلاب مضيئة، تتوهج بمساعدة من جينات قنديل البحر. هذا النوع من الدعارة العلمية باسم "الفن" المزعوم، فيه ما يهين كل مداركى. تُرى هل يمكن للضرر أن يمتد لأبعد ؟ هل يمكن لهذه النزوات الطائشة أن تقوض من مصداقية الدراسات عن العلاقات التطورية في المستقبل ؟ الواقع أنى أشك في ذلك، ولكن ربما تكون هذه النقطة مما تستحق على الأقل إثارتها، بروح من الاحتراس والحذر. وعلى كل فإن النقطة المهمة بأسرها في مبدأ الاحتراس هي تجنب أى مضاعفات في المستقبل نتيجة خيارات وتصرفات قد لا يكون خطرها واضحا الآن.

القشريات :

بدأت هذا الفصل بالهيكل العظمى للفقاريات، وفيه مثل ممتع لنمط غير متغاير يربط بين تفاصيل متغايرة. تكاد كل مجموعة رئيسية أخرى من الحيوانات أن تظهر نفس الحال من الأمور. سأعرض هنا فحسب مثلا آخر واحدا محببا: وهو عن رتبة عشاريات الأرجل (decapods) من القشريات، المجموعة التى تشمل جراد البحر والجنبرى والسرطانات والسرطان الناسك (وهو فيما يعرض

ليس سرطانا). تخطيط جسد القشريات كلها يتماثل. بينما يتكون هيكلنا العظمى الفقارى من عظام صلبة في داخل جسم هو فيما عداها جسم لين، نجد أن القشريات لديها "هيكل خارجى" يتكون من أنابيب صلبة، يحتفظ الحيوان في داخلها بأجزائه اللينة حيث يحميها. الأنابيب الصلبة ترتبط معا ولها مفاصل بطريقة تشبه ما عليه عظامنا. دعنا نفكـــر مثـــلا في المفاصل الرهيفة في سيقان واحد من السرطانات أو جراد البحر، وفى المفاصل الأقوى للمخلب. العضلات التى توفر قوة قرصة حيوان جراد بحر كبير موجودة داخل الأنابيب التى تشكل المخلب. العضلات المرادفة عندما تقرص يد بشرية شيئا ما، مربوطة بالعظام التى تمر خلال منتصف الأصابع والإبهام.

القشريات، بما يتشابه مع الفقاريات، وإن كان بما يختلف مع قنفد البحر وقنديل البحر، فيها سمترية بين اليمين واليسار، في سلسلة من الحلقات تجرى بطول الجسم من الرأس للذيل. الحلقات تتماثل إحداها مع الأخرى في تخطيطها الأساسى، ولكنها غالبا تختلف في التفاصيل. تتكون كل حلقة من أنبوبة قصيرة ترتبط معا ارتباطا صلبا، أو ترتبط بمفاصل، مع الحلقتين المجاورتين. كما هو الحال في الفقاريات، نجد أن أجهزة الأعضاء في الحيوان القشرى تظهر نمطا متكررا عندما نتابعها من الأمام للخلف. مثال ذلك، أن جذع العصب الرئيسى الذى يجرى بطول الجسم على الجانب البطنى (وليس على الجانب الظهرى كما يفعل الحبل الشوكى في الفقاريات)، له عقدتان اثنتان (نوع من مخ مصغر)[1] في كل

---

(١) من الحقائق غير المعروفة إلا قليلا أن بعض الديناصورات لها عقدة في حوضها، حجمها بالغ الكبر (على الأقل بالنسبة للمخ في الرأس) بحيث أنها تستحق أن تلقب بالمخ الثانى. وقد ألهم هذا بيرت ليستون تايلور (١٨٦٦ – ١٩٢١) الكاتب الأمريكى الكوميدى لأن يكتب القصيدة الممتعة الفكهة التالية:

حلقة، تنبثق منهما الأعصاب التى تمد الحلقة. معظم الحلقات لديها طرف في كل جانب، وكل طرف يتكون بدوره من سلسلة من الأنابيب ترتبط معا بمفاصل. الأطراف القشرية تنتهى عادة بتفرع مزدوج يمكن في حالات كثيرة أن نسميه بأنه مخلب. الرأس مقسم أيضا إلى حلقات، وإن كان النمط الحلقى، كما في رأس الفقاريات، أكثر تخفيفا عما في سائر الجسم. هناك خمسة أزواج من الأطراف تكمن في الرأس، وإن كان قد يبدو من الغريب إلى حد ما أن نسميها بالأطراف لأنها قد تم تعديلها لتصبح قرون استشعار (antenna) أو عناصر مكونة في جهاز الفك. وبالتالى فإنها عادة تسمى بالزوائد (appendages) بأولى من أن تسمى بالأطراف. مما لا يكاد يتغير، أن زوائد الرأس الخمس الحلقية، تتألف من قرن الاستشعار الأول (أو قرين الاستشعار)، وقرن الاستشعار الثانى (وكثيرا ما يسمى فحسب بأنه قرن استشعار)، ثم الفك الأسفل، والفك العلوى الأول (أو الفكيك

انظر ذلك الديناصور الجبار،
الشهير في معارف ما قبل التاريخ،
ليس فقط لقوته وسلطته
وإنما لذكائه الممتد.
سوف تلحظ في تلك البقايا
أن هذا المخلوق لديه مخان –
واحد في رأسه (المكان المعتاد)،
والآخر عند قاعدة عموده الفقرى،
وهكذا فإنه يستطيع الاستدلال "مقدما"
كما يستطيعه "مؤخرا".
ما من مشكلة يضيق بها أدنى ضيق
إلا ويدركها من رأسها حتى الذيل
كم هو حكيم ووقور،

أى فكرة إنما تشغل لا غير عمودا فقريا.
إذا وجد مخ منهما أن الضغط شديد
فإنه يمرر بعض الأفكار بعيدا للآخر.
إذا فات مخه الأمامى بعض شيء
فسوف يلتقطه المخ الخلفى.
وإذا حدث ووقع في خطأ
ستخطر في باله فكرة متأخرة تصححه.
وبما أنه يفكر مرتين قبل أن يتكلم
فإنه ليس لديه أحكام تُلغى.
هكذا فإنه يمكنه أن يفكر بغير احتقان
ليتناول كل مسألة من جانبيها.
أواه، هيا تفرس في هذا الوحش الأمثل،
الذى قضى من عشرة ملايين سنة على الأقل.

العلوى) والفك العلوى الثانى. قُرينات وقرون الاستشعار تنشغل غالبا في تحسس الأشياء. الفكوك السفلى والعليا تنشغل بالمضغ، والطحن أو بمعالجة الطعام بغير ذلك. عندما نمضى وراء بطول الجسم، نجد أن الزوائد الحلقية أو الأطراف تتغاير إلى حد كبير، فالوسطى منها كثيرا ما تشكل سيقانا للمشى، في حين أن تلك التى تنبثق من حلقات أقصى المؤخرة كثيرا ما تنضغط لأداء وظائف أخرى مثل السباحة.

سنجد في جراد البحر أو في الجمبرى أنه بعد زوائد حلقات الرأس الخمس المعتادة تكون زوائد أول حلقة للجسم هي المخالب. أزواج الزوائد الأربع التالية هي سيقان المشى. الحلقات التى تحمل المخالب وسيقان المشى تنضم معا باعتبارها الصدر. باقى الجسم يسمى بالبطن. حلقات البطن، على الأقل حتى نصل إلى طرف الذيل، هي "الأرجل العوامة"، زوائد ريشية تساعد على السباحة، وهذا أمر بالغ الأهمية بالنسبة لبعض أنواع الجمبرى برشاقتها الرهيفة. الرأس والصدر في السرطانات تندمج في وحدة واحدة كبيرة، ترتبط معها كل أول عشرة أزواج من الأطراف. البطن مطوى بأزدواج تحت الرأس /الصدر بحيث لا نستطيع أن نراه بأى حال من أعلى. أما إذا قلبنا السرطان على ظهره، فسنرى نمط حلقات البطن بوضوح. الصورة التالية تبين بطن سرطان ذكر بضيقه النموذجى. بطن الأنثى أوسع وتشبه المئزر (المريلة) كما تسمى في الحقيقة. سرطانات الناسك هي على غير المعتاد ببطن غير سمترى (لتتلاءم مع الصدفة الرخوة الخالية التى تشكل مأواها)، وهو بطن لين غير مدرع (لأن الصدفة الرخوة توفر الحماية).



سرطان نكر يبين البطن الضيق المطوى للخلف

حتى نكوّن فكرة عن بعض الطرائق المدهشة التى يحدث بها تعديل في تفاصيل جسم القشريات، في حين أن تخطيط الجسم نفسه لا يحدث فيه أى تعديل مطلقا، دعنا ننظر إلى مجموعات الرسومات في الصفحة التالية والتى رسمها إرنست هيكل عالِم الحيوان المشهور في القرن التاسع عشر، ولعله أكثر الحواريين المتفانين لداروين في ألمانيا (لم يكن هذا التفانى متبادلا، وإن كان من المؤكد أنه حتى داروين كان سيُعجَب بموهبة هيكل في الرسم). وكما فعلنا بالضبط مع الهيكل العظمى الفقارى، دعنا ننظر إلى كل جزء من جسد هذه السرطانات هي وجراد البحر، وسنرى، بما لا يفوتنا، كيف يمكن أن نجد ما يقابله بالضبط في كل باقى الحيوانات الأخرى. سنجد أن كل جزء من الهيكل الخارجى يتصل بالأجزاء "نفسها"، ولكن أشكال هذه الأجزاء نفسها تختلف اختلافا بالغا. مرة أخرى فإن "الهيكل" غير متغاير، في حين أن أجزاءه تتغاير تماما. ومرة أخرى فإن التفسير الواضح – بل وفيما أقول التفسير الوحيد المعقول – هو أن هذه القشريات كلها قد ورثت تخطيط هيكلها من سلف مشترك، وإن كانت قد صاغت المكونات المفردة في أشكال تتغاير بثراء. على أن المخطط نفسه يظل باقيا بالضبط كما وُرث عن السلف.

ما الذى كان داركى تومسون سيفعله بالكمبيوتر؟

في ١٩١٧ ألف داركى تومسون عالم الحيوان الكبير الأسكتلندى كتابا أسماه "عن النمور والشكل"، وقد طرح في آخر فصل فيه رأيه المشهور عن "طريقة التحولات"[١] كان تومسون يرسم أحد الحيوانات فوق ورق رسم بيانى، ثم يحرّف ورقة الرسم بطريقة رياضية خاصة ويبين أن شكل الحيوان الأصلى قد تحول إلى شكل حيوان آخر له صلة قرابة بالأصل. يمكننا أن نتخيل أن ورقة الرسم البيانى هي قطعة من المطاط نرسم عليها الحيوان الأول. وبعدها تكون ورقة الرسم المتحولة المرادف لقطعة المطاط نفسها، وقد مُطت أو شُدت لشكل آخر ببعض طريقة رياضية محددة. مثال ذلك أن تومسون قد أخذ ستة أنواع من السرطان ورسم واحدا منها وهو "الجريون، *Geryon* " فوق ورقة رسم بيانى عادية (الصفحة المطاطة غير المحرفة) ثم حرف بعدها "صفحته المطاطية " الرياضية بخمس طرائق منفصلة، ليتوصل إلى تمثيل تقريبى للأنواع الخمسة الأخرى من السرطان. لا يهمنا هنا تفاصيل الرياضيات، وإن كانت رائعة. ولكننا يمكننا أن نرى بوضوح أن تحويل أحد السرطانات للنوع الآخر لا يتطلب الشيء الكثير. لم يكن داركى تومسون نفسه يهتم اهتماما بالغا بالتطور، إلا أن من السهل علينا أن نتصور ما تفعله الطفرات الجينية حتى تجلب تغيرات مثل هذه. لا يعنى هذا أننا ينبغى أن نفكر في "الجريون" أو أى من هذه السرطانات الستة على أنها سلف للآخرين.

---

(١) من المؤكد أن داركى تومسون يعد واحدا من أوسع العلماء معرفة بأى حال. وأمره لا يقتصر فحسب على أن كتابته كانت تشتهر بأنها بإنجليزية رائعة من النوع الراقى، ولا على أنه عالم رياضة له أبحاثه المنشورة وأنه باحث كلاسيكى وكذلك أستاذ للتاريخ الطبيعى في أقدم جامعة بأسكتلندا، وإنما هو أيضا قد زين كتابه بالاستشهادات بلغات افترض أنه فى غير حاجة ليترجمها (كم تغير الزمان الآن) وهى بلغات لاتينية وإغريقية وإيطالية وألمانية وفرنسية، بل وحتى بروفنسالية (وهذه الأخيرة تكرم بالفعل بترجمتها – إلى الفرنسية !).

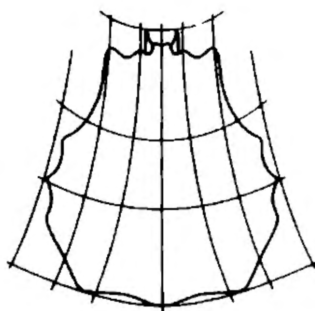


قشريات هيكل.

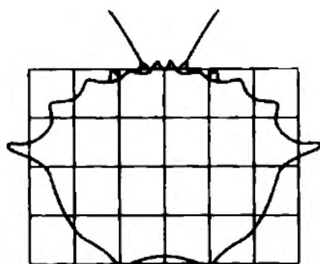
إرنست هيكل كان عالم حيوان ألمانى متميز وفنان ممتاز في رسم الحيوان

لم يكن أى منها سلفًا للآخر، وعلى أى حال فإن هذه ليست النقطة المهمة هنا. النقطة المهمة هي أنه أيا كان ما تبدو به السرطانات السلف، فإن التحولات من هذا "الصنف" يمكن أن تغير أى واحد من هذه الأنواع الستة (أو أى سلف مفترض) إلى أى من الآخرين.

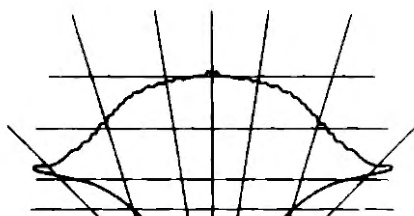
لا يحدث التطور قط بأن نأخذ شكل كائن بالغ، ونداعبه بلطف ليتحول إلى شكل نوع آخر. دعنا لا ننسى أن كل كائن بالغ يتنامى من جنين. الطفرات المختارة كان يمكن أن تنجح في الجنين المتنامى بأن تغير من معدل سرعة نمو أجزاء من الجسم بالنسبة للأجزاء الأخرى. قد فسرنا في الفصل السابع تطور الجمجمة البشرية كسلسلة من التغيرات في معدل سرعة نمو بعض الأجزاء بالنسبة لأجزاء أخرى، كما تتحكم فيها جينات الجنين المتنامى. وبالتالى، ينبغى أن نتوقع عندما نرسم جمجمة بشرية فوق صفحة "المطاط الرياضى"، أنه سيكون من الممكن فيما ينبغى تحريف المطاط ببعض طريقة رياضية منهجية لنتوصل إلى مشابهة تقريبية لجمجمة ابن عم وثيق القرابة مثل الشمبانزى – أو ربما بتحريف أكبر – نتوصل إلى مشابهة تقريبية لجمجمة ابن عم أكثر بعدا في قرابته، مثل البابون. وهذا هو ما أوضحه بالضبط داركى تومسون. مرة أخرى دعنا نلاحظ أن قرارنا كان تعسفيا عندما رسمنا أولا الجمجمة البشرية، ثم حولناها إلى الشمبانزى والبابون. كان يمكن بما يتساوى مع ذلك أن يرسم تومسون مثلا في أول الأمر الشمبانزى ثم يستنبط التحريفات اللازمة لصنع الجمجمة البشرية وجمجمة البابون. أو ربما يكون بما يثير الاهتمام بأكثر بالنسبة لكتاب عن التطور، وهو ما لم يكنه كتاب داركى، أنه ربما كان سيرسم مثلا جمجمة "الإسترالوبثيكوس" أولا فوق المطاط غير المحرّف، ويستنبط طريقة تحويلها إلى جمجمة إنسان حديث. من المؤكد أن هذا كان سينجح أيضا بمثل نجاح الصور أعلاه، وسيكون مفعما بالمعنى من الناحية التطورية وبطريقة مباشرة بأكثر.



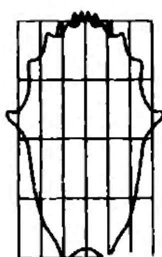
بارا لوميس



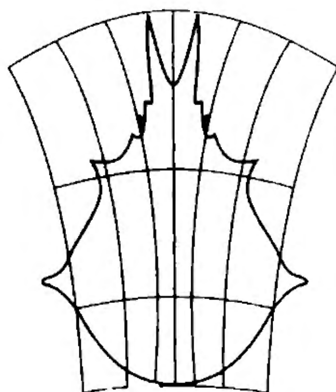
جيريون



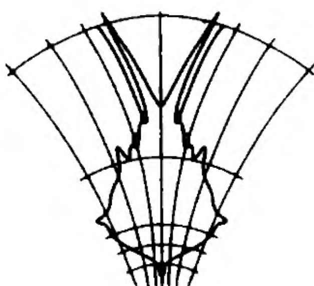
لوبا



كوريستس

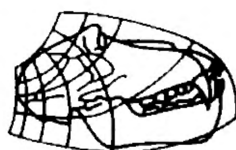


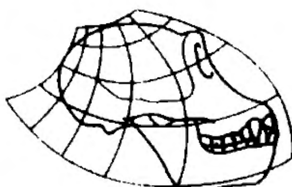
كورينوس

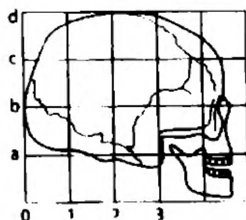


سكيرا ماثيا

"تحولات" سرطانات داركي تومسون


بابون


شمبانزى



بشرى

"تحولات" جمجمة داركى تومسون

طرحت في بداية هذا الفصل فكرة "التشاكل" مستخدما أذرع الخفافيش والبشر كمثل لها. مع اندماجى في استخدام اللغة بمزاج خاص حساس، قلت أن الهياكل العظمية متماثلة في حين أن العظام تختلف. توفر لنا تحولات داركى تومسون طريقة تجعل هذه الفكرة أكثر دقة. في هذه الطريقة من الصياغة، نجد أن عضوين - كما مثلا في يد الخفاش ويد الإنسان - يكونان متشاكلين إذا أمكن أن نرسم أحدهما على صفحة من المطاط ثم نحرف بعدها المطاط لصنع العضو الآخر. الرياضيون لديهم كلمة لذلك هي "تناظر الأجزاء[١]، homeomorphic " بين الأشكال الهندسية.

تبين علماء الحيوان وجود التشاكل في زمن سابق لداروين، فنراهم فيما قبل زمن التطور يصفون مثلا أجنحة الخفافيش وأيدى البشر بأنها متشاكلة. لو أنهم كانوا يعرفون الرياضة معرفة كافية، لأسعدهم أن يستخدموا كلمة "تناظر الأجزاء". في عهد ما بعد الداروينية عندما أصبح هناك اتفاق عام على أن الخفافيش والبشر يتشاركون في سلف عام، أخذ علماء الحيوان يعّرفون التشاكل بمصطلحات

---

(١) إذا التزمنا بدقة التعبير، يكون الشكلان متناظرين في الأجزاء إذا استطعنا تحريف الواحد منهما ليصبح الشكل الآخر دون أى تكسير له ودون أى لمسات جديدة.

داروينية. التماثلات التشاكلية هي ما يورث من السلف المشترك. أدخلت كلمة "التناظر، analogus" لتستعمل في التماثلات التى ترجع لوظائف مشتركة ولا ترجع إلى سلف مشترك. مثال ذلك أن يوصف جناح الخفاش وجناح الحشرة بأنهما متناظران، في تقابل مع وصف جناح الخفاش ويد الإنسان بأنهما متشاكلان. إذا أردنا أن نستخدم التشاكل كدليل على حقيقة التطور، لن يمكننا استخدام التطور لتعريفه. وإذن، فإنه لهذا الهدف يكون من الملائم الرجوع إلى تعريف التشاكل في زمن ما قبل التطور. جناح الخفاش وذراع الإنسان فيها تناظر في أجزائهما: تستطيع أن تحول الواحد إلى الآخر بأن نحرّف المطاط الذى رُسم عليــه. ولكنك لا تستطيع أن تحول جناح خفاش إلى جناح حشرة بهذه الطريقة، لأنه لا توجد أجزاء متطابقة. انتشار وجود ظواهر تناظر الأجزاء التى لم تعرّف بمصطلحات التطور، يمكن أن تستخدم كدليل على التطور. من السهل ان نرى الطريقة التى يعمل بها التطور مفعوله في أى ذراع فقارى ليحوله لأى ذراع فقارى آخر، وذلك بأن نغير ببساطة من نسب معدلات النمو في الجنين.

منذ أن أصبحتُ ملما بالكمبيوترات وأنا طالب جامعى في ستينيات القرن العشرين، وأنا أتساءل عما كان دراكى تومسون سيفعله بواسطة الكمبيوتر. أصبح السؤال ملحا في ثمانينيات القرن العشرين، عندما شاع وجود كمبيوترات بشاشات بثمن يمكن تحمل تكلفته (وذلك بالمقارنة بطابعات الورق فحسب). أسلوب الرسم على مطاط مفرود ثم تحريف سطح الرسم بطريقة رياضية، ليس إلا "استجداءً صارخا لأن يعالج الأمر بالكمبيوتر! اقترحت على جامعة أوكسفورد أنها ينبغى أن تطلب منحة لتوظيف مصمم برامج ليضع تحولات داركى تومسون على شاشة الكمبيوتر ويجعلها متاحة للمستخدم بسهولة. حصلنا على التمويل ووظفنا ويل أتكنسون، وهو مصمم برامج وبيولوجى من الدرجة الأولى، وقد أصبح صديقا وناصحا لى في مشاريع مبرمجاتى الخاصة. توصل أتكنسون إلى حل المشكلة

الصعبة لبرمجة الذخيرة الغنية من التحريفات الرياضية "للمطاط"، وما أن فعل ذلك حتى أصبح من السهل عليه نسبيا أن يدمج هذا اللعب السحرى الرياضى في برنامج انتخاب اصطناعى بأسلوب البيومورف، بما يشابه برامجى الخاصة "بالبيومورف" التى وصفتها هنا في الفصل الثانى. وكما في برامجى، يواجه "اللاعب" بشاشة مليئة بأشكال حيوانية، ويُدعى لاختيار واحد منها "ليتناسل"، جيلا بعد جيل. مرة أخرى فإن هناك جينات ظلت باقية خلال الأجيال، ومرة أخرى فإن هذه الجينات أثرت في شكل "الحيوانات". إلا أنه في هذه الحالة أثرت الجينات في شكل الحيوان بواسطة التحكم في تحريف شكل "المطاط" الذى رُسم عليه شكل الحيوان. وإذن، فإنه من الوجهة النظرية من الممكن أن نبدأ مثلا بجمجمة "أوسترالوبثيكوس" مرسومة على "مطاط غير محرف، ثم يشق التناسل طريقه من خلال مخلوقات يتزايد فيها تدريجيا حجم خزانة مخها ويتناقص تدريجيا طول خطمها – أو بكلمات أخرى مخلوقات يتزايد شبهها للإنسان. على أنه ثبت من الوجهة العملية أن من الصعب جدا تنفيذ شىء من هذا النوع، واعتقد أن هذه حقيقة تثير الاهتمام في حد ذاتها.

أعتقد أن أحد أسباب صعوبة ذلك هو أن تحولات داركى تومسون هي مرة أخرى تغير شكل حيوان "بالغ" إلى شكل آخر بالغ. وكما سبق أن أكدت في الفصل الثامن، ليست هذه هي الطريقة التى تعمل بها الجينات في التطور. لكل حيوان بمفرده تاريخ للتنامى. فهو يبدأ كجنين وينمو، ويكون نموه بتنامى أجزاء الجسم المختلفة بمعدلات سرعة بلا تناسب فيما بينها، حتى يصل إلى البلوغ. التطور ليس بالتحريف المحكوم جينيا ليتحول كائن بالغ إلى آخر بالغ؛ وإنما هو تعديل محكوم جينيا في برنامج للتنامى. أدرك جوليان هكسلى ذلك (وهو حفيد ت. هـــ وشقيق ألدوس هكسلى)، ذلك أنه بعد نشر أول طبعة من كتاب داركى تومسون، سرعان ما أجرى هكسلى تعديلا "لطريقة التحولات" حتى يدرس طريقة تحول الأجنة

المبكرة إلى أجنة أكبر سنا أو إلى بالغين. هذا هو كل ما أود أن أقوله هنا عن طريقة تحولات داركى تومسون. سأعود إلى هذا الموضوع في الفصل الأخير لأوضح نقطة هامة لها علاقة به.

كما طرحت في بداية هذا الفصل، فإن الأدلة من الدراسات المقارنة ظلت دائما تفرض نفسها بما هو أقوى من الأدلة من دراسة الحفريات من حيث دعم حقيقة التطور. كان لداروين نفسه رأى مماثل، كما ذكر في نهاية فصله في كتاب " عن أصل الأنواع" عندما تناول "التجاذب المتبادل للكائنات الحية":

> **"وأخيرا فإنه يبدو لى أن أنواع الحقائق العديدة التى نظـرنا في أمرها في هذا الفصل تدل بوضوح بالغ على أن ما لا حصر له من أنواع، وأجناس وعائلات الكائنات الحية التى تقطن محتشدة في هذا العالم، كلها تنحدر سلالتها من آباء مشتركة كل في داخل نطاق طائفته أو مجموعته، وكلها قد تناولها التعديل في سياق انحدار سلالتها، وهكذا ينبغى علىّ دون تردد أن أتخذ هذا الرأى حتى إن لم تكن هناك حقائق أو حجج أخرى تدعمه".**

مقارنات جزيئية

ما لم يعرفه داروين، وما لم يكن يستطيع أن يعرفه، هو أن الأدلة المستقاة من الدراسات المقارنة تصبح حتى أكثر إقناعا عندما تتضمن الوراثيات الجزيئية، بالإضافة إلى المقارنات التشريحية التى كانت متاحة له.

وكما أن الهيكل العظمى الفقارى لا يتغاير في كل الفقاريات في حين تختلف العظام المفردة، وكما أن الهيكل الخارجى للقشريات لا يتغاير في كل القشريات في حين أن "الأنابيب" المفردة تتغاير، فإنه بمثل ذلك تماما نجد أن شفرة دنا لا تتغاير في كل الكائنات الحية، في حين أن الجينات المفردة نفسها تتغاير. هذه حقيقة مذهلة حقا، وتبين بأوضح من أى شيء آخر أن كل الكائنات الحية تتحدر سلالتها من سلف وحيد. والأمر لا يقتصر على الشفرة الجينية نفسها، وإنما يشمل كل منظومة الجين / البروتين التى تجرى بها الحياة، والتى تناولناها في الفصل الثامن، فهذه المنظومة تتماثل في كل الحيوانات، والنباتات، والفطريات، والبكتريا، والأركيات والفيروسات. ما يتغاير هو ما يُكتب في الشفرة، وليس الشفرة نفسها. وعندما نجرى دراسة مقارنة على ما هو مكتوب بالشفرة – التتابعات الجينية الفعلية في كل هذه المخلوقات المختلفة – سنجد النوع نفسه من شجرة التراتب حسب التشابه. سنجد "الشجرة العائلية" نفسها التى وجدناها بالنسبة للهيكل العظمى الفقارى، والهيكل القشرى، بل وجدناها في الحقيقة في كل نمط التشابهات التشريحية خلال كل الممالك الحية – ولكننا نجدها عند مقارنة الشفرة الجينية وقد رُتبت على نحو أكثر إتقانا وإقناعا.

إذا أردنا أن نستنتج مدى توثق القرابة بين نوعين اثنين – كأن يكون ذلك مثلا درجة قرابة القنفذ والقرد – سيكون الإجراء الأمثل هو أن ننظر في كل النصوص الجزيئية الكاملة لكل جين في النوعين، ونقارن بين كل فقرة وعنوان، وذلك كما قد يفعل الباحث في الكتاب المقدس عندما يقـارن بين لفافتى البـردى أو الشدف التى كتب عليها سفر أشعيا. ولكن هذا يتطلب وقتا طويلا وتكلفة باهظة. استغرق مشروع الجينوم البشرى عشر سنوات تقريبا تمثل عملا مقداره الكثير من الأفراد / القرون. على الرغم من أنه يمكن الآن إنجاز النتيجة نفسها في جزء أصغر من هذا الوقت، إلا أنه سيظل من المهام الكبيرة المكلفة أن ننفذ مشروعا

لجينوم القنفذ. فك شفرة الجينوم البشرى بالكامل هو أحد تلك الإنجازات التى تجعلنى فخورا بأن أكون إنسانا، وذلك بما يماثل مشروع أبوللو للهبوط على القمر، ومشروع جهاز اصطدام الهادرون الكبير الذى تم بدؤه حاليا فى جنيف أثناء كتابتى الآن – لقد هزنى الحجم الهائل لهذا الجهد الدولى حتى أنى بكيت عند زيارته. يسعدنى أن مشروع جينوم الشمبانزى قد تم إنجازه حاليا بنجاح، وكذلك ما يرادفه بالنسبة لأنواع أخرى مختلفة. إذا استمر معدل التقدم الحالى (انظر "قانون هودجكن" فيما يلى) سرعان ما سيغدو من المتاح اقتصاديا تحديد تتابعات الجينوم في أى نوعين اثنين قد نرغب في قياس مدى توثق قرابتها كأبناء عمومة. وفى الوقت نفسه، فإنه سيكفى للجزء الأكبر من أهدافنا أن نلجأ لأخذ عينات من أجزاء معينة من جينومات هذه الأنواع، وينجح هذا جيدا إلى حد كبير.

نستطيع أخذ عيناتنا باختيار جينات قليلة معينة (أو بروتينات نتم ترجمة تتابعاتها مباشرة من الجينات) ونقارنها في كل نوع. وسوف أصل إلى هذا بعد لحظة. إلا أن هناك طرائق أخرى لتنفيذ نوع بدائى أوتوماتيكى من أخذ العينات، والتكنولوجيات اللازمة لأداء ذلك معروفة منذ زمن أطول. إحدى الطرائق المبكرة التى تنجح على نحو مدهش، تستغل الجهاز المناعى للأرانب (نستطيع واقعيا أن نستخدم أى حيوان نشاء، ولكن الأرانب تؤدى المهمة جيدا). الجهاز المناعى للأرنب، كجزء من دفاع الجسم الطبيعى ضد العوامل المسببة للمرض، ينتج أجساما مضادة ضد أى بروتين غريب يدخل تيار الدم. وكما أننا نستطيع أن نعرف إذا كان أحد الأفراد قد سبقت إصابته بالسعال الديكى بأن نبحث عن الأجسام المضادة في دمه، فإننا بمثل ذلك تماما نستطيع أن نعرف ما الذى تعرض له الأرنب في الماضى بأن نبحث عن الاستجابات المناعية الموجودة حاليا. الأجسام المضادة الموجودة في الأرنب تشكل تاريخا للصدمات الطبيعية التى توارثها لحمه– بما في ذلك البروتينات التى تحقن فيه اصطناعيا. إذا حقنت مثلا بروتين شمبانزى

في الأرنب، فإن الأجسام المضادة التى يصنعها سوف تهاجم بعدها البروتين نفسه إذا أعيد حقنه. ولكن دعنا نفترض أن الحقنة الثانية تكون من بروتين مرادف، فهى من بروتين غوريلا وليس بروتين شمبانزى؟ سنجد أن تعرض الأرنب من قبل لبروتين الشمبانزى سيمنحه حماية "جزئية" ضد بروتين الغوريلا، إلا أن رد الفعل سيكون أضعف. كذلك فإن بروتين الشمبانزى سيمنح الأرنب حماية ضد بروتين الكنغرو، إلا أن رد الفعل سيظل أضعف مما مع بروتين الغوريلا، باعتبار أن درجة قرابة الكنغرو للشمبانزى، الذى بدأ صنع الأجسام المضادة، أقل كثيرا من قرابة الغوريلا للشمبانزى. مدى شدة استجابة الجهاز المناعى للأرنب إزاء الحقن التالية من البروتين فيها قياس لدرجة مشابهة هذا البروتين للبروتين الأصلى الذى حقن به الأرنب أولا. هذه الطريقة التى تستخدم الأرانب هي التى أجرى بها فنسنت ساريتش وآلان ويلسون تجاربهما بجامعة كاليفورنيا في بركلى، وأثبتا بها عمليا في ستينيات القرن العشرين أن أفراد البشر والشمبانزى على درجة قرابة الواحد بالآخر أوثق مما كان يدركه أى شخص فيما مضى.

هناك أيضا طرائق تستخدم الجينات نفسها، وتقارن بينها مباشرة في الأنواع المختلفة بدلا من المقارنة بين البروتينات التى تشفر لها. إحدى طرائق ذلك الأقدم والأكثر فاعلية طريقة ما يسمى تهجين دنا. تهجين دنا هو ما يكمن أساسا وراء تلك الإفادات التى نراها كثيرا مثل القول بأن: "أفراد الإنسان والشمبانزى يتشاركون في ٩٨ في المائة من جيناتهم". فيما يعرض فإن هناك بعض بلبلة حول ما تعنيه بالضبط هذه الأرقام من النسب المئوية. "ما هو" ذلك الشىء الذى يتطابق منه ثمانية وتسعون في المائة ؟ الرقم المضبوط يعتمد على مدى حجم الوحدات التى نحصيها. هناك مثل قياس بسيط يوضح الأمر، ويوضحه على نحو مثير للاهتمام، لأن أوجه الخلاف بين المثل والشىء الحقيقى فيها ما يوضح الأمر مثلما توضحه أوجه التماثل. هيا نفترض أن لدينا نسختان من الكتاب نفسه وأننا نريد المقارنة

بينهما. لعل هذا الكتاب هو سفر دانيال ونحن نريد أن نقارن النسخة المعتمدة مع لفافة قديمة مكتوبة تم اكتشافها توا في كهف يطل على البحر الميت. ما هي النسبة المئوية لتطابق فصول الكتابين. من المحتمل أن تكون صفرا؛ لأن وجود تعارض واحد فقط في أى مكان من فصل بأكمله سيجعلنا نقول أن الكتابين غير متطابقين. ترى ما هي النسبة المئوية لتماثل "الجمل" فيهما ؟. ستكون هذه النسبة أعلى بكثير. بل ستكون النسبة حتى أعلى فيما يتعلق بتماثل الكلمات، ذلك أن الكلمات تحوى حروفا أقل مما تحويه الجمل – وبالتالى تقل الفرص لاختلاف التماثل. إلا أن تماثل الكلمات سيظل معرضا للاخفاق إذا اختلف حرف واحد في الكلمة. وبالتالى فإذا وضعنا النصين جنبا إلى جنب وقارنا بينهما حرفا بحرف، فإن النسبة المئوية للحروف المتماثلة ستكون حتى أعلى من النسبة المئوية للكلمات المتماثلة. وإذن، فإن التقدير "بالتماثل بنسبة ٩٨ في المائة " لا يعنى أى شىء إلا إذا حددنا حجم الوحدات التى نقارن بينها. هل نحن نحصى الفصول، أو الكلمـات، أو الحروف أو ماذا؟ يصدق الشيء نفسه عندما نقارن دنا في نوعين. إذا كنا نقارن بين كروموسومات بأكملها فإن النسبة المشتركة تكون صفرا؛ لأن وجود مجرد اختلاف ضئيل واحد في بعض مكان بطول الكروموسومات سيؤدى إلى أن نعين أن الكروموسومات مختلفة.

رقم الثمانية والتسعين في المائة الذى يُستشهد به كثيرا حول النسبة المشتركة للمادة الجينية عند أفراد البشر والشمبانزى هو بالفعل لا يشير إلى أعداد الكروموسومات ولا أعداد الجينات الكاملة، وإنما يشير إلى أعـداد "حروف" دنا (أو يشير تكنيكيا إلى أزواج القواعد النيتروجينية) التى يتوافق أحدها مع الآخر في داخل جينات البشر والشمبانزى. إلا أنه توجد هنا مشكلة خفية. إذا أجرينا مقارنة للسطور على نحو ساذج، فإن حرفا "ناقصًا" (أو حرفا مضافا) في مقابل ما يعد حرفا خطأً، سينتج عنه عدم توافق في كل الحروف التالية؛ لأنها كلها ستغدو عندها

مضطربة وقد ضاعت خطوة من ترتيبها (إلى أن يحدث خطأ في الاتجاه الآخر ليجعل الحروف تعود إلى الانتظام ثانية). من الواضح أن ليس من الإنصاف أن نجعل تقدير التعارضات متضخما بهذه الطريقة. عين الباحث التى تمسح لفافتين لسفر دانيال سوف تتغلب على ذلك أوتوماتيكيا بطريقة يصعب تقديرها كميا. كيف يمكننا أن نفعل ذلك مع دنا؟ عند هذه النقطة سنترك قياسنا بالتماثل بين الكتب واللفائف وننطلق مباشرة إلى الشىء الحقيقى؛ لأنه كما يتفق، فإن هذا الشىء الحقيقى – دنا – يسهل فهمه أكثر من القياس بالتماثل!

عندما نسخن دنا تدريجيا سنصل إلى إحدى درجات الحرارة – التى تقترب من ٨٥° م – حيث تتكسر الروابط بين خيطى اللولب المزدوج، وينفصل الخيطان اللولبيان. يمكننا أن نعتبر أن درجة حرارة ٨٥° م، أو أيا ما تكون درجة الحرارة اللازمة، على أنها "درجة انصهار" دنا. إذا بردت درجة الحرارة ثانية، فإن كل خيط واحد لولبى سوف ينضم مرة أخرى تلقائيا مع خيط لولبى واحد آخر، أو مع شدفة من لولب واحد، أينما يجد أيا منهما ما يستطيع أن يزدوج معه، مستخدما النظام العادى الذى يتم به ازدواج القواعد النيتروجينية للولب المزدوج. ربما يعتقد القارئ أن هذا الخيط سيكون دائما ذلك الخيط الشريك الذى انفصل مؤخرا، وهو بالطبع يتوافق أكمل التوافق مع الخيط الآخر. يمكن حقا أن يحدث ذلك، إلا أن ما يحدث عادة لا يكون منظما هكذا. شظايا دنا تعثر على أى شظايا أخرى لدنا يمكن أن تزدوج معها، وعادة لا تكون هذه الشظايا هي بالضبط من الشريك الأصلى. بل إننا في الحقيقة لو أضفنا دنا من نوع آخر من الكائنات، فإن شظايا الخيوط الفردية تكون قادرة تماما على الانضمام مع شظايا من خيوط منفردة من دنا النوع الخطأ، ويكون هذا بطريقة تماثل تماما الطريقة التى تنضم بها إلى خيوط فردية من النوع الصحيح. ولماذا لا ؟ أحد الاستنتاجات الرائعة من ثورة البيولوجيا الجزيئية التى قام بها واطسون وكريك أن دنا ليس إلا دنا لا غير. دنا لا يهتم بما إذا كان دنا

البشرى، أو دنا شمبانزى، أو دنا التفاح. الشظايا تزدوج بسعادة مع الشظايا المكتملة لها أينما تجدها. ومع ذلك فإن قوة الارتباط لا تكون دائما متساوية. أطوال دنا من الخيط الفردى ترتبط مع الخيط الفردى الذى يتوافق معها ويكون هذا الارتباط محكما بأقوى مما يحدث عند ارتباطها بخيط فردى أقل شبها لها. سبب ذلك أن عددا أكبر من "حروف" دنا (أو القواعد النيتروجينية لواطسون وكريك) يجد نفسه في موضع إزاء شركاء لا يستطيع أن يزدوج معها. وبالتالى فإن ترابط الخيطين يغدو أضعف – ويشبه هذا زماما منزلقا (كسوستة ضم الملابس) تنقصه بعض أسنانه.

كيف يمكن أن نقيس قوة الترابط هذه، بعد عثور الشظايا التى تنتمى لنوعين مختلفين إحداها على الأخرى لتنضم معا ؟ يتم ذلك بطريقة بسيطة على نحو يكاد يكون مضحكا. سنقيس "درجة حرارة انصهار" الروابط. لعل القارئ يذكر أنى قلت أن درجة حرارة انصهار دنا المجدول في خيطين تقرب من ٨٥° م. يصدق هذا على دنا الطبيعى المجدول في خيطين متوافقين تماما، كما يحدث مثلا عندما "ينصهر" خيط من دنا البشرى منفصلا عن الخيط المكمل له من دنا البشرى. أما عندما يكون الارتباط بين الخيطين ضعيفا – مثل ما يحدث عندما يرتبط خيط بشرى مع خيط شمبانزى – فسيكفى لكسر الارتباط درجة حرارة أقل قليلا. وعندما يرتبط خيط دنا البشرى مع خيط دنا من ابن عم أبعد في درجـــة قرابته، كالسمك أو الضفادع، سيكفى لكسر الارتباط والانفصال درجة حرارة أقل مما سبق. الفرق في درجة حرارة الانصهار في حالة ارتباط خيط دنا بخيط آخر من نوعه نفسه، وبين درجته عندما يكون خيط دنا مرتبطا بخيط من نوع آخر، هذا الفرق هو مقياسنا للبعد الوراثى بين النوعين. هناك قاعدة مبنية على التجربة العملية مفادها أنه عندما تنخفض "درجة الانصهار" بمقدار درجة سلسيوس واحد فإن هذا يقابل

تقريبا انخفاضا بمقدار واحد في المائة في عدد حروف دنا المتوافقة (أو زيادة من واحد في المائة في عدد الأسنان المفقودة في زمام الإغلاق).

لهذه الطريقة مصاعبها التى لن أدخل فيها، كما أن لها مشاكلها الخادعة التى تتطلب حلولا بارعة. مثال ذلك، أنه عند مزج دنا الإنسان مع دنا الشمبانزى، فإن الكثير من شظايا دنا البشرى سوف ترتبط بالشظايا الأخرى من دنا البشرى، كما أن الكثير من شظايا دنا الشمبانزى سوف ترتبط مع الشظايا من نوعها. بما أن ما نريده حقا هو أن نقيس "درجة انصهار" دنا المهجن، كيف نتمكن من فصل دنا المهجن هذا عن دنا "النوع المتماثل" ؟ الإجابة هي بحيلة بارعة تتضمن الوسم المسبق بواسمات مشعة. على أن تفاصيل ذلك ستأخذنا بعيدا إلى حد كبير عن مسارنا. النقطة المهمة هنا هي أن تهجين دنا هو التكنيك الذى قاد العلماء إلى أرقام مثل رقم ٩٨ في المائة فيما يتعلق بالتماثل الجينى بين البشر والشمبانزى، وهى التى نتج عنها نسب مئوية اقل، بما يمكن التنبؤ به، عندما ننتقل بالمقارنة إلى أزواج من الحيوانات أبعد في درجة قرابتها.

أحدث طريقة لقياس التماثل من مجموعتين من الجينات المتوافقة تنتميان لنوعين مختلفين هي الطريقة المباشرة لأقصى حد والأغلى تكلفة لأقصى حد: وهى أن نقرأ بالفعل تتابع الحروف في الجينات نفسها، باستخدام الطرائق نفسها التى استخدمت في مشروع الجينوم البشرى. على الرغم من أن هذه الطريقة لا تزال مرتفعة التكلفة عند مقارنة الجينوم بأكمله، إلا أننا نستطيع الحصول على تقريب جيد عند إجراء المقارنة بين عينة لا غير من الجينات، وهذا هو ما يتم أداؤه الآن على نحو متزايد.

أيا كان التكنيك الذى نستخدمه لقياس التماثل بين نوعين، سواء كان ذلك باستخدام الأجسام المضادة في الأرانب، أو درجات حرارة الانصهار، أو التحديد

المباشر للتتابعات، فإن الخطوة التالية هي نفس الخطوة إلى حد كبير. بعد الحصول على رقم وحيد يمثل درجة التماثل بين أفراد كل زوج من الأنواع، سنضع هذه الأرقام في جدول. هيا نأخذ مجموعة من الأنواع ونكتب أسماءها بالترتيب نفسه بالنسبة لعناوين العمود وكذلك بالنسبة لعناوين الصف الأفقى. ثم نضع بعدها النسبة المئوية للتماثل في الخانات الملائمة. سيكون الجدول مثلثا (نصف مربع)، وسبب ذلك مثلا أن النسبة المئوية للتماثل بين الإنسان والكلب ستكون نفس نسبة التماثل بين الكلب والإنسان. وبالتالى فعندما نملأ كل الجدول المربع، فإن كلا من النصفين على أى جانب من جانبى نصف القطر سيكون صورة مرآة للآخر.

والآن ما هو نوع النتائج التى ينبغى أن نتوقعها ؟ حسب نموذج التطور ينبغى أن نتنبأ بأننا سنجد أنفسنا ونحن نضع درجة مرتفعة في الخانة التى تربط بين الإنسان والشمبانزى؛ ونضع درجة أقل في الخانة التى تربط بين الإنسان والكلب. من الوجهة النظرية ينبغى أن يكون في خانة الإنسان / الكلب درجة تشابه تماثل الدرجة في خانة الشمبانزى/ الكلب لأن أفراد البشر والشمبانزى لديها بالضبط الدرجة نفسها من علاقة القرابة بالكلاب. وينبغى لهذه الدرجة أن تتماثل أيضا في خانة القرد/ الكلب وخانة الليمور / الكلب. سبب ذلك أن أفراد البشر، والشمبانزى، والقرود، والليمور كلها ترتبط بالكلب عن طريق السلف المشترك لهم، وهو أحد الرئيسيات المبكرة (وربما يبدو بعض الشيء شبيها لليمور). ينبغى أن تظهر الدرجة نفسها في خانات الإنسان/القط، والشمبانزى/القط، والليمور/القط ؛ وذلك لأن القطط والكلاب على علاقة قرابة بكل الرئيسيات عن طريق السلف المشترك لكل اللاحمات. ينبغى أن تكون هناك درجة أقل كثيرا في كل الخانات التى تجمع الحبار مثلا مع أى ثديبى – وتكون هذه الدرجة على نحو مثالى متساوية في انخفاضها. ولن يكون مهما أى حيوان ثديبى سنختاره، حيث أنها كلها تتساوى في بعد علاقتها بالحبار.

هذه توقعات نظرية لها قوتها، إلا أنه من الوجهة العلمية لا يوجد أى سبب يمنع انتهاكها، ولو تم انتهاكها، فإن هذا سيكون دليلا ضد التطور. يثبت في النهاية أن ما يحدث فعلا – في حدود هامش إحصائى للخطأ – هو ما ينبغى أن نتوقعه بناء على ما يفترض من أن التطور قد حدث. هذه طريقة أخرى لأن نقول أننا عندما نضع مسافات الأبعاد الوراثية بين أزواج من الأنواع على أطراف شجرة، فسوف تمضى الأمور كلها منطقيا بطريقة مُرضية. وبالطبع فإن هذا السياق المنطقى لا يكون مثاليا تماما. التوقعات الرقمية في البيولوجيا نادرا ما يحدث أن تتحقق بما هو أفضل في دقته من التقريب.

يمكن استخدام أدلة الدراسات المقارنة لدنا (أو البروتين) حتى نقرر – بناء على افتراض التطور – أى أزواج من الحيوانات تكون على علاقة قرابة كأبناء عمومة بأوثق مما مع الحيوانات الأخرى. إن ما يجعل هذا يتحول إلى أدلة بالغة القوة بشأن التطور هو أننا نستطيع إنشاء شجرة تشابهات جينية مستقلة بالنسبة لكل جين بدوره. النتيجة المهمة لذلك أن كل جين ينتج عنه تقريبا الشجرة نفسها للحياة. مرة أخرى فإن هذا بالضبط ما ينبغى أن نتوقعه إذا كنا نتعامل مع شجرة عائلية حقيقية. ليس هذا ما نتوقعه لو كان هناك تصميم يوضع للحيوانات ويتم مسح المملكة الحيوانية كلها لالتقاط أو اختيار أو "اقتراض" أفضل بروتين يؤدى المهمة أينما يُعثر عليه في المملكة الحيوانية.

أقدم دراسة أجريت على نطاق واسع على أساس هذه الخطوط أجراها مجموعة من علماء الوراثة في نيوزيلندا يقودهم الأستاذ دافيد بنى. تناولت دراسة مجموعة "بنى" خمسة جينات هي وإن لم تكـن جينـات متطابقة عند كل الثدييات إلا أنها تتشابه بالدرجة الكافية لاكتسابها الاسم نفسه في كل الثدييات. التفاصيل هنا ليست مهمة، ولكن من باب المعرفة فإن الجينات الخمسة هي جينات لهيموجلوبين "إيه، A"، وهيموجلوبين "بى، B" (الهيموجلوبينات تعطى الدم لونه الأحمر)، ومادة ببتيدالفيبرين "إيه، A"، وببتيد الفيبرين "بى،B" (تستخدم ببتيدات الفيبرين في تجلط

الدم)، وسيتوكروم "سى،C" (وهو يلعب دورا مهما في الكيمياء الحيوية الخلوية). اختيار العلماء أحد عشر حيوانا ثدييا لهذه الدراسة المقارنة وهى حيوانات من قرد ريسوس، والخروف، والحصان، والكنغرو، والجرذ، والأرنب، والكلب، والخنزير، والإنسان، والبقرة، والشمبانزى.

اتخذ "بنى" وزملاؤه أسلوب تفكير إحصائى. أرادو أن يحسبوا درجة احتمال أن ينتج عن جزيئين الشجرة العائلية نفسها بمحض الحظ، وذلك عندما لا يكون التطور حقيقة. وبالتالى، فقد حاولوا تصور كل الأشجار الممكنة التى يمكن أن تنتهى إلى ذرية من أحد عشر فردا. كان العدد كبيرا بما يذهل. حتى لو قيدنا أنفسنا بأشجار "تتفرع ثنائيا" (بمعنى أنها أشجار تتقسم فروعها إلى اثنين فقط ولا تتشعب ثلاثيا أو إلى شعب أكثر)، فإن العدد الكلى للأشجار الممكنة يزيد عن ٣٤ مليون شجرة. هل سينظر العلماء بصبر أمر كل شجرة من الأربعة والثلاثين مليونا ويقارنوا كل واحدة منها بالأشجار الأخرى التى يبلغ عددها ٣٣٩٩٩٩٩٩ شجرة ؟ بالطبع لا، لم يفعلوا ذلك! سوف يستغرق ذلك بالكمبيوتر زمناً اطول مما ينبغى. إلا أنهم ابتكروا بالفعل طريقة تقريب إحصائى بارعة، فيها مرادف مختصر لهذه الحسابات الضخمة.

فيما يلى طريقة عمل هذا التقريب، أخذوا أول الجينات الخمس، وليكن هيموجلوبين A مثلا (سأستخدم في كل الحالات اسم البروتين ليرمز للجين الذى يشفر لهذا البروتين). أراد العلماء أن يعثروا من بين كل هذه الملايين من الأشجار على الشجرة التى تكون الأكثر "اقتصادا أو بخلا" فيما يختص بهيموجلوبين A. الاقتصاد أو البخل هنا يعنى "ما يحتاج إلى افتراض أدنى حد من التغير التطورى". وكمثل، فإن آلافا من تلك الأشجار تفترض أن أقرب ابن عم للإنسان هو الكنغرو في حين تفترض أن أفراد البشر والشمبانزى على علاقة قرابة أبعد، هذه الأشجار يثبت أنها ليست مطلقا مقتصدة أو بخيلة: فهى تحتاج لافتراض الكثير من التغير

التطورى حتى تؤدى إلى نتيجة مفادها أن أفراد الكنغرو والإنسان لها سلف مشترك حديث. الحكم الذى سيصدره هيموجلوبين A سيكون حسب الأسس التالية:

هذه شجرة مروعة لا تتسم مطلقا بالاقتصاد. لا يقتصر الأمر على أنى سأجد أن على أن أبذل الكثير من الجهد في الطفر حتى أنتهى إلى أن أكون مختلفا هكذا في أفراد البشر والكنغرو، على الرغم من قرابتنا كأبناء عمومة وثيقة حسب هذه الشجرة، وإنما سيكون على أيضا أن أبذل الكثير من الجهد في الطفر في الاتجاه الآخر، حتى أضمن أنه على الرغم من الانفصال الكبير بين البشر والشمبانزى في هذه الشجرة بعينها، إلا أن أفراد البشر والشمبانزى ينتهون على نحو ما إلى هيموجلوبين A يتماثل فيهما كل هذا التماثل. إننى أعطى صوتى ضد هذه الشجرة.

سيصدر هيموجلوبين A حكما من هذا النوع، وستكون بعض الأحكام محبذة عن الأخرى فيما يتعلق بكل شجرة من الأربعة والثلاثين مليون شجرة، وسينتهى الأمر أخيرا إلى اختيار عشرات قليلة من الأشجار التى ترقى لمرتبة القمة. بالنسبة لكل شجرة من أشجار القمة هذه سيقول هيموجلوبين A عنها شيئا يشبه التالى:

هذه الشجرة تجعل أفراد البشر والشمبانزى في وضع كأبناء عمومة وثيقة، وتضع الغنم والبقر كأبناء عمومة وثيقة، وتضع أفراد الكنغرو في وضع غريب منفردة وحدها. يثبت في النهاية أن هذه شجرة جيدة جدا؛ لأنها لا تكاد تكلفنى أى جهد في الطفر بأى حال حتى أفسر التغيرات التطـوريـــة.

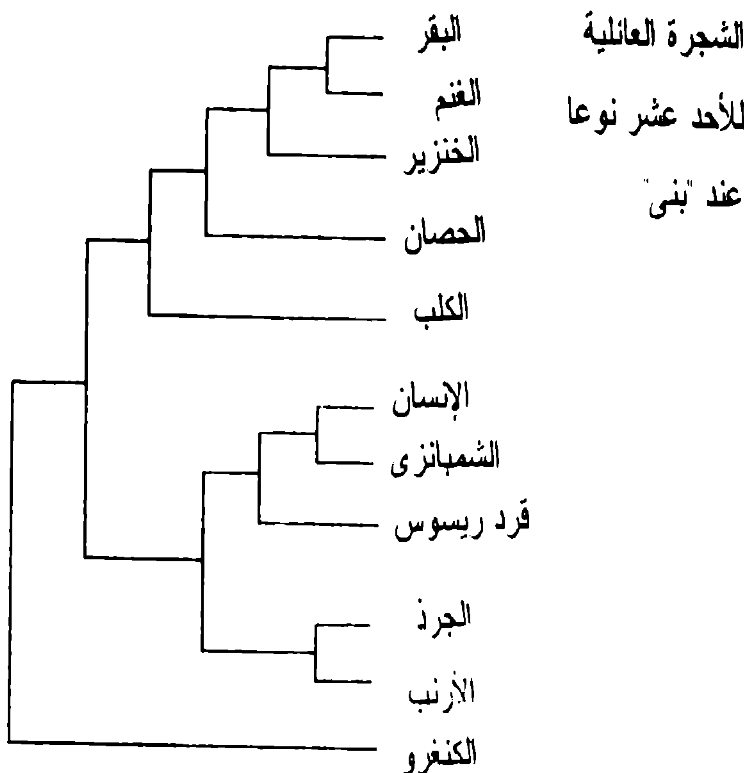
هذه شجرة اقتصادية بامتياز. تنال هذه الشجرة صوت هيموجلوبين A !

سيكون رائعا بالطبع لو أن هيموجلوبين A، هو وكل جين آخر أمكنها أن تصل جميعا إلى شجرة وحيدة فيها أقصى درجة من الاقتصاد، ولكننا هكذا نطلب أكثر مما ينبغى. ما يمكن فحسب توقعه من بين أربعة وثلاثين مليون شجرة هو أنه ينبغى أن يوجد العديد من أشجار تختلف اختلافا بسيطا وترتبط بهيموجلوبين A ارتباطا ترقى درجته للقمة.

والآن ماذا عن هيموجلوبين "بى" ؟ وماذا عن سيتوكروم "سى" ؟ كل واحد من البروتينات الخمسة له الحق في أن يكون له صوته الخاص المستقل، وأن يجد شجرته الخاصة المفضلة (أى الشجرة الأكثر اقتصادا) من بين الأربعة والثلاثين مليون شجرة. سيكون من الممكن تماما لسيتوكروم سى أن يعطى صوته بطريقة مختلفة بالكامل بشأن أى شجرة هي الأكثر اقتصادا. قد يثبت في النهاية أن سيتوكروم سى عند البشر هو حقيقة مماثل جدا لما عند الكنغرو، ومختلف جدا عما عند الشمبانزى. وبدلا من أن يقر سيتوكروم سى بعلاقة الازدواج الوثيقة بين الغنم والبقر كما يبينها هيموجلوبين A، فإن سيتوكروم سى ربما يجد أنه لا يكاد يحتاج إلى أى طفر مطلقا حتى توضع الغنم في علاقة وثيقة جدا مع القرود مثلا، وحتى يـوضع البقـر في عـلاقة وثيقة جدا مع الأرانب. حسب ما يفترضه التكوينيون لا يوجد سبب لألا يحدث هذا فيما ينبغى. إلا أن ما وجده "بنى" وزملاؤه فعلا هو أن هناك درجة اتفاق مرتفعة بما يذهل بين البروتينات الخمسة كلها (كما استخدم هؤلاء العلماء أيضا أساليب إحصائية أكثر براعة لتبين كيف أنه من غير المرجح أن يكون هذا التوافق بالصدفة). البروتينات الخمسة كلها "أعطت أصواتها" إلى حد كبير للمجموعة الفرعية نفسها من الأشجار فيما بين الأربعة والثلاثين مليون

شجرة. هذا بالطبع ما ينبغى أن نتوقعه بالضبط بافتراض أن هناك فقط شجرة واحدة حقيقية تربط كل الحيوانات الأحد عشر في علاقة قرابة، وإنها لهى الشجرة "العائلية": شجرة العلاقات التطورية. يضاف إلى ذلك أن شجرة التوافق العام التى صوتت لها الجزيئات الخمسة كلها يثبت في النهاية أنها الشجرة نفسها التى استنبطها علماء الحيوان من قبل بناء على الأسس التشريحية والباليونتولوجية، وليس على الأسس الجزيئية.

نُشرت دراسة "بنى" في ١٩٨٢، أى أنها الآن مضى عليها زمن طويل. شهدت هذه الفترة من تلك السنوات التى انقضت تزايدا هائلا في الأدلة التفصيلية عن التحديد الدقيق لتتابعات الجينات في الكثير والكثير من أنواع الحيوانات والنباتات. الاتفاق على الأشجار الأكثر اقتصادا يمتد الآن لما هو أبعد كثيرا من الأحد عشر نوعا والجزيئات الخمسة التى درسها "بنى" وزملاؤه. كانت دراستهم هذه مجرد مثل رائع، له قوته الغامرة كما ثبت من أدلتهم الإحصائية. النتيجة الكلية لبيانات تحديد تتابعات الجينات المتاحة الآن تجعل الأمر يتجاوز أى شك يمكن تصوره. لدينا ما هو أكثر اقناعا إلى حد أبعد كثيرا حتى من أدلة الحفريات (وهى أدلة مقنعة إلى حد كبير)، وهو أن الأدلة من دراسات المقارنة بين الجينات تتلاقى بسرعة وبحسم عند شجرة ضخمة واحدة للحياة. الرسم أعلاه فيه شجرة للأحد عشر نوعا في دراسة "بنى"، وهى تمثل تصويتا حديثا بتوافق عام تدلى به أجزاء كثيرة من الجينوم الثديبى. هذا الاتساق في الاتفاق بين كل الجينات المختلفة في الجينوم هو ما يعطينا الثقة، ليس فحسب في دقة الانضباط تاريخيا في شجرة التوافق العام نفسها، وإنما يعطينا الثقة أيضا في أن التطور قد حدث حقا.



إذا واصلت تكنولوجيا الوراثيات الجزيئية توسعها بمعدل سرعتها التى تتزايد حاليا زيادة أسّية، فإنه بحلول ٢٠٥٠ سيكون التوصل لتحديد التتابع الكامل للقواعد في جينوم الحيوان رخيصا وسريعا ولا يكاد يكلف أكثر مما يكلفه قياس درجة حرارة الحيوان أو ضغط دمه. لماذا أقول أن التكنولوجيا الوراثية تتوسع بمعدل أسى ؟ هل يمكننا حقا قياس ذلك ؟ هناك ما يوازى ذلك في تكنولوجيا الكمبيوتر ويسمى قانون "مور". سمى هذا القانون على اسم جوردون مور، أحد مؤسسى شركة "إنتل" لرقائق الكمبيوتر، ويمكن التعبير عن هذا القانون بطرائق مختلفة؛ لأن هناك قياسات عديدة لقدرة الكمبيوتر يتصل أحدها بالآخر. تقرر إحدى نسخ هذا القانون أن عدد الوحدات التى يمكن حشدها في دائرة متكاملة بحجم معين

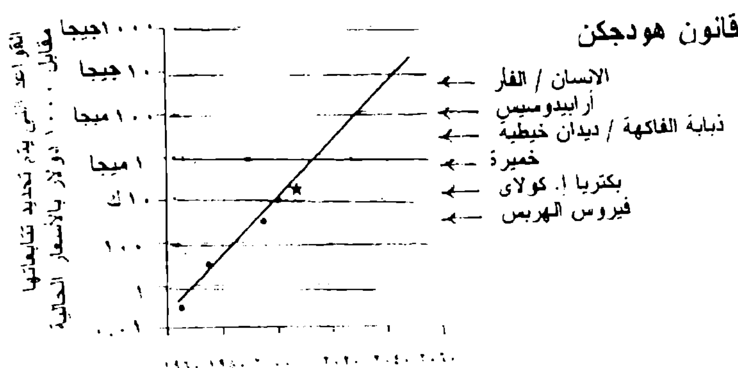
يتضاعف كل ثمانية عشر شهرا إلى سنتين أو ما يقرب. هذا قانون إمبريقى، بمعنى أنه بدلا من أن يُستقى من بعض نظرية، فإنه يثبت في النهاية صدقه عندما نقيس البيانات. وقد ظل هذا القانون صحيحا حتى الآن بما يقرب من خمسين سنة، ويعتقد خبراء كثيرون أنه سيظل كذلك على الأقل لعقود قليلة أخرى. هناك نزعات أسّية أخرى بزمن تضاعف مماثل، ويمكن اعتبارها بمثابة نسخ أخرى من قانون مور، ويشمل ذلك تزايد سرعة الحوسبة، وحجم الذاكرة، بالنسبة لتكلفة الوحدة. نزعات التزايد أُسيًّا تؤدى دائما لنتائج مذهلة، الأمر الذى أثبته داروين عمليا بمساعدة ابنه جورج العالم الأحصائى، عندما أخذ الفيل مثالًا للحيوان الذى يتكاثر ببطء، وبين أنه في خلال قرون قليلة لا غير من التنامى الأسى بلا قيود، سنجد أن السلالة المنحدرة من زوج واحد من الفيلة سوف تغطى سطح الأرض. لا حاجة هنا لأن نقول أن تنامى عشيرة الفيلة لا يجرى عمليا على نحو أسى. فهناك عوامل تقيده مثل التنافس على الطعام والمكان، والمرض، وعوامل كثيرة أخرى. كانت هذه فـــي الحقيقة هي النقطة الأساسية عند داروين، فها هنا يخطو الانتخاب الطبيعى داخلا.

على أن قانون مور قد ظل يعمل بالفعل لما يقرب من الخمسين سنة على الأقل. ليس لدى أى فرد أى فكرة بالغة الوضوح عن السبب في أن قياسات مختلفة لقدرة الكمبيوتر هي من الوجهة العملية قد تزايدت أسيا بالفعل، بينما نزعة فيل داروين للتزايد أُسيًّا لا تحدث إلا من الوجهة النظرية. وقع في خاطرى أنه ربما يكـــون هنـــاك قانون مماثل يعمل بالفعل في التكنولوجيا الوراثية وتحديد تتابعات D N A. طرحت ذلك على جوناثان هودجكن أستاذ الوراثيات في أوكسفورد (وكان في وقت ما طالبا جامعيا عندى). ولسعادتى تبين أنه أيضا قد فكر في ذلك من قبل – وأنه قد قاس ذلك وهو يُعد لالقاء محاضرة في مدرسته القديمة. قدر

هودجكن تكلفة تحديد تتابع طول معيارى من دنا في أربعة أوقات من التاريخ هي سنة ١٩٦٥ و ١٩٧٥ و ١٩٩٥ و ٢٠٠٠. حولت أنا أرقامه إلى كم التتابعات التى تُحدد بانفاق كذا دولار أو "ما هو مقدار D N A الذى يمكن تحديد تتابعاته بألف دولار؟" رسمت الأرقام على ورق رسم بيانى بتدريج لوغاريتمى؛ اخترته لأن نزعة التزايد الأسية تظهر دائما كخطًا مستقيمًا عندما تُرسم لوغارتميا. ليس هناك أى شك في أن نقط هودجكن الأربع تقع جيدا على خط مستقيم. رسمت الخط الملائم للنقاط الأربع (انظر طريقة تكنيك الارتداد المستقيم في أحد هوامش الفصل الخامس) ثم سمحت لنفسى بأن أمد الخط لينطلق في المستقبل. عرضت هذا الجزء من الكتاب على الأستاذ هودجكن في وقت قريب هو بالضبط عندما أرسلت الكتاب إلى المطبعة، وأخبرنى هودجكن بأحدث بيانات يعرفها بهذا الشأن: في ٢٠٠٨ تم تحديد جينوم البلاتيبوس ذى المنقار الشبيه بالبط (البلاتيبوس اختيار جيد بسبب موضعه الإستراتيجى في شجرة الحياة: السلف الذى يشترك فيه البلاتيبوس معنا عاش منذ ١٨٠ مليون سنة، وهذا يقرب من ثلاثة أمثال الزمن الذى مضى منذ انقراض الديناصورات). رسمت نقطة البلاتيبوس كنجمة في الرسم البيانى، ويستطيع القارئ أن يرى أنها قريبة إلى حد كبير من امتداد الخط الذى تم حسابه على أساس البيانآت المبكرة.

ممال خط ما أسميه الآن (بدون إذن) بأنه قانون هودجكن هو فحسب أقل عمقا بقليل عن ممال قانون مور. زمن التضاعف يزيد قليلا عن السنتين، في حين أن زمن التضاعف لقانون مور أقل قليلا من السنتين. تكنولوجيا دنا تعتمد اعتمادا شديدا على الكمبيوترات، وبالتالى فإن من حسن التخمين أن يقال أن قانون هودجكن يعتمد على الأقل جزئيا على قانون مور: في الرسم التالى تدل الأسهم إلى

اليمين على أحجام جينومات الكائنات المختلفة. عندما نتابع سهما تجاه اليسار حتى يصل إلى خط ممال قانون هودجكن، سنتمكن من الوصول لقراءة لتقدير الوقــت الذى يمكن عنده تحديد تتابع جينوم بالحجم نفسه مثل حجم الكائن موضع الدراسة مقابل ١٠٠٠ دولار فقط (من النقد الحالى). بالنسبة لجينوم في حجم الخميرة سنحتاج للانتظـــار فقــط حتى ٢٠٢٠



الارنداد المستقيم وقد رسم فى تلاءم مع نقاط أربعة بيانات،

ثم مد التقدير استقرانيا إلى ٢٠٥٠

تقريبا. بالنسبة إلى جينوم جديد لأحد الثدييات يكون التاريخ التقديرى قريبا تماما من ذلك الجانب من سنة ٢٠٤٠ (من حيث ما يخص هذا النوع من الحساب التقريبى السريع على ظهر ظرف خطاب، فإن الثدييات كلها تتساوى في غلو تكلفتها). إنها لتوقعات مبهجة: سيتم الحصول على قاعدة بيانات ضخمة لتتابعات دنا، بسهولة وبتكلفة رخيصة من كل أرجاء المملكتين الحيوانية والنباتية. الدراسات المقارنة التفصيلية لدنا سوف تملأ الثغرات في معرفتنا فيما يتعلق بدرجة القرابة التطورية الفعلية لكل الأنواع أحدها بالآخر: سوف نعرف بيقين كامل كل الشجرة

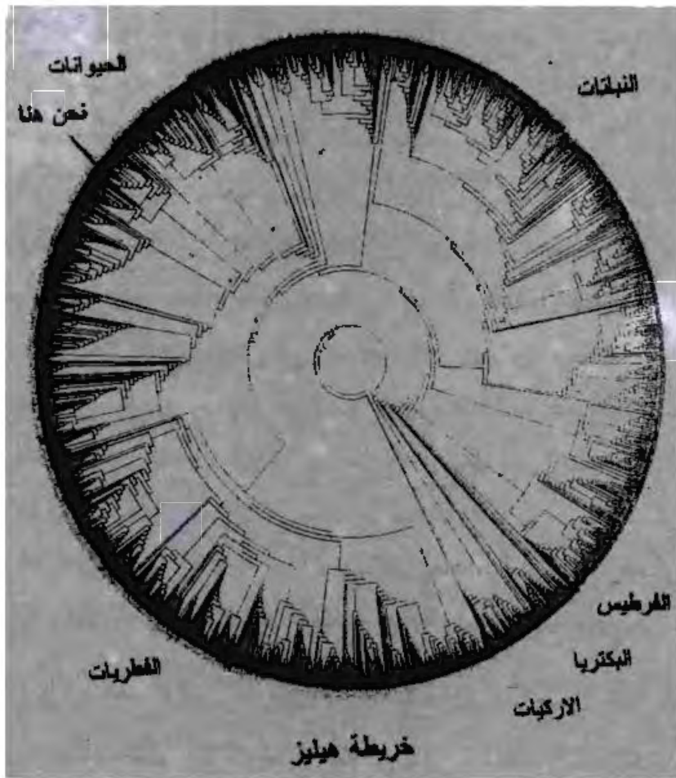
العائلية لكل الكائنات الحية[1]. لا يعلم سوى الآلهة كيف سنرسم خريطتها، فهى لن تتلاءم مع أى صفحة ورق بحجم عملي.

حتى الآن، فإن أكبر المحاولات حجما في هذا الاتجاه هي ما أجراه فريق مصاحب لدافيد هيليز، شقيق دانى هيليز الذى كان رائد العمل لواحد من أول الكمبيوترات الفائقة. تجعل خطة هيليز الصورة التوضيحية للشجرة أكثر اندماجا بأن تضمها ملفوفة في دائرة. لن نستطيع أن نرى الثغرة حيث يكاد يلتقى الطرفان، ولكنها موجودة بين "البكتريا" و"الأركيات". حتى نرى كيف تنجح الخريطة الدائرية في عملها، هيا ننظر إلى النسخة المختصرة اختصارا كبيرا المرسومة بالوشم على ظهر د. كلير دالبرتو بجامعة ملبورن التى تتحمس لعلم الحيوان تحمسا يتخللها لأعمق من جلدها. تفضلت كلير بأن سمحت لى بنسخ الصورة الفوتوغرافية في هذا الكتاب (انظر صفحة ١٨٤ الملونة). يتضمن رسمها الموشوم عينة صغيرة من

---

(١) ربما تستدعى عبارة "كل الكائنات الحية ذكر ملحوظة للتحذير. في جزء سابق من هذا الفصل رأينا كيف أن مبدأ "ممنوع الاقتراض" يكاد يناسب بالكامل الحيوانات والنباتات، أما البكتريا فأمرها مختلف. يحدث بين البكتريا (هي والأركيات التى تشبه البكتريا ظاهريا ولكنها إلى حد ما على درجة بعيدة من القرابة) الكثير من التشارك في الجينات. بينما تستخدم الحيوانات التزاوج الجنسى لتبادل دنا داخل نطاق النوع الواحد، نجد أن البكتريا تستخدم الطريقة الخاصة بها من "النسخ واللصق" لتمرر دنا فيما حولها، حتى بين أنواعها البعيدة في صلة القرابة. على الرغم من أنى كنت على صواب في تمجيد "شجرة الحياة الوحيدة الحقيقية" للحيوانات والنباتات، إلا أن المسألة كلها تغدو أكثر تشوشا عندما نلتفت إلى الكائنات الدقيقة. وكما أوضح زميلى الفيلسوف دان دينيت، فإنه بينما تنتشر شجرة الحياة للحيوانات انتشارا فخيما مثل شجرة البلوط، فإن شجرة الحياة للبكتريا تكون أكثر شبها بشجرة تين البنغال الضخمة الكثيفة. فيما يختص بالبكتريا ثمة ما ينبغى قوله عن تجميع "شجرة واحدة حقيقية " لكل جين على حدة، بصرف النظر عن أى أنواع معينة من البكتريا يتفق أن تنتقل هنا وهناك. ياله من توقع يخلب اللب. كما كان داروين سيحبه.

ستة وثمانين نوعا (عدد الفروع الطرفية). يستطيع القارئ أن يرى الثغرة في الخريطة الدائرية، ويتصور أن الدائرة قد فُتحت. العدد الأصغر من الصور التوضيحية حول الحافة قد تم اختياره على نحو إستراتيجى من البكتريا، والبروتوزوا، والنباتات، والفطريات، وأربع شعب من الحيوانات. يمثل الفقاريات في الخريطة تنين البحر العشبى إلى اليمين، وهو نوع مدهش من السمك تحميه مشابهته لأعشاب البحر. خريطة هيليز الدائرية تماثل ذلك فيما عدا أن فيها ثلاثة آلاف نوع. تبدو أسماء هذه الأنواع حول الحافة الخارجية للدائرة في الرسم السابق. وهى أصغر جدا من أن نتمكن من قراءتها - وإن كان "الهوموسابينز" عليه علامة للمساعدة على معرفة ملكانه تقول "نحن هنا". يستطيع القارئ أن يحصل على بعض فكرة عن كيف أن عينات الشجرة عددها قليل للغاية حتى في هذه الخريطة الضخمة، وذلك عندما تُذكر له أن الحيوانات الأكثر قرابة للبشر التى يمكن أن يتلاءم وضعها في هذه الدائرة هي الجرذان والفئران. يلزم هنا الإقلال من عدد الذيبيات إقلالا بالغا حتى يمكن أن توضع كل الفروع الأخرى من الشجرة في تلاؤم على نفس العمق. دعنا نتصور لا غير محاولة رسم خريطة لشجرة مماثلة فيها عشرة ملايين نوعا بدلا من الثلاثة آلاف من الأنواع المضمنة هنا. ورقم العشرة ملايين ليس أكثر التقديرات إسرافا لعدد الأنواع الحية الموجودة. إنه لمما يجدر بنا أن نفعله أن ننقل بالترحيل شجرة هيليز من موقعه على ويب (انظر الهوامش) ثم نطبعها ونعلقها فوق الجدار مطبوعة على قطعة ورق يوصى بأن تكون على الأقل باتساع ٥٤ بوصة (أو حتى أكبر لما في ذلك من فائدة).



الساعة لجزيئية

الآن بينما نحن نتحدث عن الجزيئات، فإن لدينا مهام لم ننهها تخلفت عن الفصل الرابع الذى كان يدور حول الساعات التطورية. نظرنا في ذلك الفصل أمر حلقات الأشجار، وأمر الأنواع المختلفة من الساعات الإشعاعية، ولكننا أرجأنا النظر في أمر ما يسمى بالساعة الجزيئية حتى نعرف شيئا حول الجوانب الأخرى من الوراثيات الجزيئية. حان وقت ذلك الآن، دعنا نفكر في هذا الجزء على أنه ملحق للفصل عن الساعات.

تفترض الساعة الجزيئية أن التطور حقيقة، وأنه يتواصل بمعدل سرعة ثابتة خلال الزمان الجيولوجى، ثباتا يكفى لاستخدام هذه السرعة كساعة في حد ذاتها، بشرط أنه يمكن معايرتها باستخدام الحفريات، وهذه بدورها تعاير بالساعات الإشعاعية. وكما أن ساعة الشمع يُفترض فيها أن الشموع تحترق بمعدل سرعة ثابتة ومعروفة، وساعة الماء يُفترض فيها أن يُفّرغ الماء من وعاء بمعدل سرعة يمكن معايرته، وكما أن ساعة الجد يفترض فيها أن البندول يتأرجح بمعدل سرعة ثابتة، فإنه بمثل هذا كله يفترض في الساعة الجزيئية أن هناك جوانب معينة من التطور "نفسه" تتواصل بمعدل سرعة ثابتة. معدل هذه السرعة الثابتة يمكن معايرته إزاء تلك الأجزاء من السجل التطورى التى تم توثيقها جيدا بالحفريات (التى يمكن تأريخها بالمواد المشعة). ما إن تتم معايرة الساعة الجزيئية حتى يمكن استخدامها لتأريخ أجزاء أخرى من التطور لم يتم توثيقها جيدا بالحفريات. فيمكن استخدامها مثلا للحيوانات التى ليس لها هياكل عظمية صلبة ونادرا ما تتحجر في حفريات.

هذه فكرة رائعة، ولكن ما الذى يعطينا الحق في أن نأمل أننا سوف نستطيع العثور على عمليات تطورية تتواصل بمعدل سرعة ثابتة ؟ الحقيقة أن هناك أدلة كثيرة تطرح أن معدلات التطور تتغاير بدرجة عالية. طرح ج. ب. س. هالدين في زمن يسبق بكثير العهد الحديث للبيولوجيا الجزيئية، اتخاذ وحدة اسمها "الداروين" كمقياس لمعدلات سرعة التطور. هيا نفترض أنه عبر الزمان التطورى، يحدث تغير في بعض خاصية قابلة للقياس في أحد الحيوانات، وهو تغير في اتجاه ثابت. كمثل لذلك، هيا نفترض أن متوسط طول الساق يتزايد. إذا كان طول الساق قد تزايد خلال فترة من مليون سنة بعامل من "e" (= ٢،٧١٨ ٠٠٠)، وهذا رقم تم اختياره لأسباب من الملاءمة رياضيا، لا حاجة بنا للدخول فيها)(*)(١)، يقال عندها

(*) "e" رمز رياضى هو أساس النظام اللوغاريتمى الطبيعى وقيمته تقريبا تساوى ٢،٧١٨٣. (المترجم)=

أن معدل سرعة التغير التطورى يساوى وحدة داروين واحدة. هالدين نفسه قدر معدل سرعة تطور الحصان بما يقرب من ٤٠ مللى داروين، في حين أن هناك من يطرح أن تطور الحيوانات المدجنة بتأثير الانتخاب الاصطناعى ينبغي أن يقاس بوحدات الكيلو داروين. معدل سرعة تطور أسماك الجاب التى تزرع في جدول خال من المفترسين، كما سبق وصفه في الفصل الخامس، تم تقديرها بأنها ٤٥ كيلو داروين. تطور "الحفريات الحية" مثل "اللينجولا" (الفصل الخامس) يُحتمل أنه سيقاس بوحدات الميكرو داروين. أعتقد أن القارئ هكذا قد استوعب النقطة المهمة هنا: معدلات سرعة تطور الكائنات التى نستطيع رؤيتها وقياسها، مثل السيقان والمناقير، تتغاير بدرجة هائلة.

إذا كانت معدلات التطور تتغاير هكذا، كيف نستطيع أن نأمل في استخدامها كساعة ؟ ها هنا حيث تأتى الوراثيات الجزيئية لإنقاذنا. للوهلة الأولى، لن يكون من الواضح كيف يمكن أن يتم هذا. عندما تتطور صفات يمكن قياسها مثل تطور طول الساق، يكون ما نراه هو المظهر الخارجى المرئى لتغير وراثى كامن في الأساس. كيف يمكن إذن أن يتأتى أن معدلات التغير على المستوى الجزيئى ستوفر لنا ساعة جيدة في حين أن معدلات تطور الساق أو الجناح لا تفعل ذلك ؟ إذا كانت السيقان والمناقير ينالها التغير بمعدلات تتراوح بين وحدات الميكرو داروين إلى

---

(١) قرأت لأول مرة كتاب "حساب التفاضل والتكامل ميسرا" الذى ألفه سلفانوس ب. تومسون، وكان ذلك بناء على توصية من جدى المهندس، وأصابتنى هذه القراءة الأولى بالقشعريرة عندما طرح تومسون حرف *"e"* مكتوبا بخط مائل باعتباره "رقما يجب ألا يُنسى أبدًا". إحدى نتائج استخدام *"e"* كعامل مختار، بدلا من أن نقول مثلا "٢"، هو أننا نستطيع أن نحسب وحدات الداروين مباشرة بأن نطرح اللوغاريتمات الطبيعية أحدها من الآخر. هناك علماء آخرون طرحوا وحدة الهالدين كوحدة لقياس سرعة التطور.

الكيلو داروين، لماذا ينبغى أن نعتمد بثقة أكبر على الجزيئات كساعات ؟ الإجابة هي أن التغيرات الوراثية التى تظهر نفسها في تطور خارجى مرئى – لأشياء مثل السيقان والأذرع – هي مجرد قمة صغيرة جدا لجبل الجليد العائم، وهى القمة التى تتأثر بشدة بتغايرات الانتخاب الطبيعى. أغلب التغيرات الوراثية على المستوى الجزيئى هي تغيرات "محايدة" وبالتالى يمكن توقع أنها ستتواصل بمعدل سرعة مستقل عن مدى الاستفادة وربما يكون حتى ثابتا بالتقريب في نطاق أى جين واحد. التغير الوراثى المحايد لا تأثير له في بقاء الحيوان موجودا، وهذا عامل جدارة مفيـــد لأى ساعة. سبب ذلك أن الجينات التى تؤثر في البقاء في الوجود، إيجابيا أو سلبيا، يكون من المتوقع لها أن تتطور بمعدل سرعة متغير، بما يعكس ذلك.

عالم الوراثة اليابانى العظيم موتو كيمورا هو بين آخرين أول من طرح النظرية المحايدة للتطور الجزيئى، وعندما طُرحت النظرية لأول مرة كانت مثار خلاف. هناك بعض نسخة لها أصبحت الآن مقبولة على نطاق واسع، وبدون أن أدخل في تفاصيل الأدلة هنا، سأتقبل النظرية موافقا عليها في هذا الكتاب. بما أن لى شهرة بأنى أحد عمد "مذهب التكيف" (وأنى فيما يزعم يتملكنى قهار بأن الانتخاب الطبيعى هو القوة الدافعة الرئيسية، بل حتى القوة الدافعة الوحيدة للتطور) فإنه يمكن للقارئ أن يكون واثقا بعض الثقة عندما يرى أنى رغم هذه الشهرة أؤيد النظرية المحايدة، وإذن فمن غير المرجح أن يكون هناك بيولوجيون آخرون كثيرون يعارضونها ![1]

---

(١) بل أن هناك حتى من أطلقوا علىّ أن "داروينى لدرجة المغالاة "، وهذا تعبير ساخر أرى أنه فيما يحتمل اقل إهانة مما يقصده من سكوه.

الطفــرة المحايدة هي وإن كانت يسهل قياسها بتكنيكات الوراثة الجزيئية، إلا أنها لا تخضع للانتخاب الطبيعى سواء إيجابيا أو سلبيا. "الجينات الكاذبة، Pseudogenes" محايدة نتيجة نوع واحد من الأسباب. إنها جينات أدت ذات مرة بعض شيء مفيد ولكنها الآن نُحيت جانبا ولا يحدث لها بعد بأى حال أن تُستنسخ أو تترجم. من الممكن أيضا أنها تعتبر كأنها غير موجودة فيما يختص برفاهة الحيوان. أما فيما يختص بالعلماء فإنها موجودة كل الوجود، وهى بالضبط ما تحتاجه الساعة التطورية. الجينات الكاذبة هي فحسب فئة واحدة من هذه الجينات التى لا يحدث أبدا أن تترجم في الإمبريولوجيا. هناك فئات أخرى يفضلها العلماء كساعات جزيئية، ولكنى لن أدخل هنا في تفاصيل ذلك. ما تفيدنا به الجينات الكاذبة فيه ما يثير الحرج عند أتباع المذهب التكوينى. أنها تؤدى بهم حتى إلى التوسع في جيل ابتكاراتهم التكوينية لاختلاق سبب مقنع لأن يتم أصلا تصميم جين كاذب – جين لا يؤدى مطلقا أى شيء ويعطى كل مظهر يجعله يبدو كنسخة متقاعدة لجين ربمـــا كـــان ذات مـــرة يـــؤدى شيئا – ليس من سبب لتصميم مسبق لجين كهذا إلا إذا كان الجين الكاذب قد صمم عن عمد ليخدعنا.

إذا تركنا الجين الكاذب جانبا، فإن من الحقائق اللافتة للنظر أن الجزء الأكبر من الجينوم (٩٥ في المائة في حالة البشر) يمكن أن يُستغنى عن وجوده، بلا أى فارق يظهر. النظرية المحايدة تنطبق حتى على الكثير من الجينات في الخمسة في المائة الباقية – أى الجينات التى تُقرأ وتستخدم. بل هي تنطبق حتى على الجينات التى لها أهمية حيوية بالكامل للبقاء في الوجود. يجب أن أكون واضحا هنا. نحن لا نقول أن الجين الذى تنطبق عليه النظرية المحايدة ليس له تأثير في الجسم، ما نقوله هو أن هناك نسخة طافرة من الجين لها بالضبط التأثير نفسه مثل النسخة غير الطافرة. مهما كان هذا الجين مهما أو غير مهم، فإن النسخة الطافرة لها التأثير نفسه مثل النسخة غير الطافرة. على عكس الجينات الكاذبة،

حيث يمكن وصف الجين نفسه وصفا صحيحا بأنه محايد، فإننا نتحدث الآن عن حالات حيث "الطفرات" وحدها (أى التغيرات في الجينات) يمكن وصفها بلغة جازمة بأنها محايدة، وليس الجينات نفسها.

الطفرات يمكن أن تكون محايدة لأسباب مختلفة. شفرة D N A هي "شفرة متعددة الترميز، Degenerate code". هذا مصطلح تكنيكى يعنى أن بعض "كلمات" الشفرة هي بالضبط مترادفات إحداها للأخرى[١]. عندما يطفر جين إلى أحد مرادفاته، يمكنك عندها ألا تهتم أبدا بأن تسمى ذلك طفرًا. والحقيقة أنه ليس بطفر، بمدى ما يخص نتائجه في الجسم. وهو لنفس السبب ليس بطفر مطلقا بمدى ما يخص الانتخاب الطبيعى. ولكنه طفر بمدى ما يخص علماء الوراثة الجزيئية، لأنهم يستطيعون رؤيته باستخدام طرائقهم. الأمر وكأننى أغير البنط الذى أكتب به كلمة الكنغرو مثلا لتغدو **الكنغرو**. سيظل في إمكانك أن تقرأ الكلمة، وسيظل معناها هو نفس الحيوان الأسترالى الواثب. تغيير حجم الطباعة من الصغير إلى الكبير أمر يمكن اكتشافه ولكنه لا علاقة له بالمعنى.

الطفرات المحايدة ليست كلها محايدة تماما إلى هذه الدرجة. أحيانا يترجم الجين الجديد إلى بروتين مختلف، إلا أن "الموقع النشط" في البروتين الجديد يبقى

---

(١) كلمة "Degenerate " ليست مماثلة لكلمة "redundant، فائض زائد" (وإن كان كثيرا ما يحدث خلط بين المصطلحين)، وهذه الأخيرة هي مصطلح تكنيكى آخر في نظرية المعلومات. الشفرة ذات الفائض الزائد هي شفرة يتم فيها نقل الرسالة نفسها أكثر من مرة واحدة (مثال ذلك أن يقال "إنها أمرأة أنثى" هذا ينقل الرسالة عن جنسها ثلاثة مرات)، الفائض الزائد يستخدمه المهندسون كإجراء ضد أخطاء النقل. الشفرة المتعددة الترميز هي شفرة تستخدم فيها أكثر من "كلمة" واحدة لتعنى الشىء نفسه. مثال ذلك أننا نجد في الشفرة الوراثية أن "س ى س " و "س ى ج ؟ كلاهما تعنى الحمض الأمينى "اليوسين": وبالتالى فإن طفرا من "س ى س" إلى "س ى ج " ليس فيه فارق. إنه تعدد ترميز.

هو نفسه مثل البروتين القديم (دعنا نتذكر تلك "الانبعاجات" التى تتشكل بحرص، والتى قابلناها في الفصل الثامن). وبالتالى فإنه لا يوجد بالمعنى الحرفى أى تأثير في التنامى الجنينى للجسم. الشكل غير الطافر هو والشكل الطافر للجين ما زالا مترادفين بمدى ما يختص بتأثيرهما في الأجسام. من الممكن أيضا أن تؤدى حقا بعض الطفرات بالفعل إلى تغيير في الجسم (وإن كان "المغالين في الداروينية" مثلى ينحون إلى الاتجاه ضد هذه الفكرة) إلا أن هذا التغيير يكون على نحو لا تأثير له، بطريقة أو أخرى، في البقاء في الوجود.

وإذن، حتى نلخص نظرية الحياد، فإن القول بأن أحد الجينات، أو إحدى الطفرات، تكون "محايدة" لا يعنى بالضرورة أن الجين نفسه بلا فائدة. فهو قد يكون مهما بدرجة حيوية لبقاء الحيوان في الوجود. وإنما ما يعنيه ذلك هو أن الشكل الطافر من الجين – والذى قد يكون أو لا يكون مهما للبقاء – ليس فيه "اختلاف" عن الشكل غير الطافر فيما يختص بتأثيراته (التى قد تكون مهمة جدا) للبقاء في الوجود. كما يتفق، فلعل من المحتمل أن يصدق القول بأن معظم الطفرات محايدة. فهى لا يمكن أن يكتشفها الانتخاب الطبيعى، ولكن من الممكن أن يكتشفها علماء الوراثة الجزيئية؛ وهذه توليفة مثالية للساعة التطورية.

ليس في أى من هذا ما يقلل من الأهمية البالغة لقمة جبل الجليد الطافى – أى الأقلية من الطفرات التى ليست محايدة. هذه الطفرات غير المحايدة هي التى يتم انتخابها من أجل تطور التحسينات، إيجابيا أو سلبيا. أنها الطفرات التى نرى بالفعل تأثيراتها – و"يراها" أيضًا الانتخاب الطبيعى. إنها الطفرات التى يمنح انتخابها للكائنات الحية توهمها بوجود تصميم مسبق علـــى نحـــو يأخذ بالأنفاس. إلا أن باقى جبل الجليد الطافى – تلك الطفرات المحايدة التى تشكل الأغلبية – هو ما يهمنا عندما نتحدث عن الساعة الجزيئية.

على مر الزمان الجيولوجى، نجد أن الجينوم يتعرض لوابل من التآكل بالاحتكاك في شكل طفرات. سنجد في ذلك الجزء الصغير من الجينوم حيث الطفرات لها أهميتها حقا للبقاء في الوجود، أن الانتخاب الطبيعى سرعان ما يتخلص من الطفرات السيئة ويحابى الطفرات الجيدة. ونجد من الناحية الأخرى أن الطفرات المحايدة تتكدس ببساطة، دون أن تُعاقَب ودون أن تُلحظ – إلا بواسطة علماء الوراثة الجزيئية. والآن فإننا في حاجة إلى مصطلح تكنيكى جديد وهو: "التثبيت". الطفرة الجديدة إن كانت جديدة حقا سيكون معدل تكرارها منخفضا في المستودع الجينى. إذا عاودنا زيارة المستودع الجينى بعد مرور مليون سنة، يكون من الممكن أن نجد أنه قد حدثت زيادة في التكرار بمعدل مائة في المائة أو ما يقرب من ذلك. إذا حدث ذلك يقال عن الطفرة إنها قد "نالت التثبيت ". لن نعود إلى التفكير فيها على أنها طفرة. لقد أصبحت من القاعدة الطبيعية. الطريق الواضح لأن تنال الطفرة التثبيت هو أن يحبذها الانتخاب الطبيعى. إلا أن هناك طريقا آخر. فهى تستطيع أن تنال التثبيت بالصدفة. قد يكون هناك ذات يوم لقب يفتخر به ولكنه يمكن أن يموت بسبب عدم وجود ورثة من الذكور، وبمثل ذلك تماما نجد أن بدائل الطفرة التى نتحدث عنها يتفق أن يحدث لها لا غير أن تختفى من المستودع الجينى. الطفرة نفسها يمكن أن تغدو متكررة في المستودع الجينى، بسبب الحظ نفسه الذى أدى بلقب "سميث" أن يبزغ كأكثر لقب شائع في إنجلترا. لا شك من أنه سيكون مما يثير الاهتمام بدرجة أكبر كثيرا أن ينال الجين تثبيته لسبب جيد – هو الانتخاب الطبيعى – إلا أن التثبيت قد يحدث أيضا بالصدفة، إذا توفر له العدد الكافى من الأجيال. والزمان الجيولوجى يمتد امتدادا شاسعا يكفى لأن تنال الطفرات المحايدة تثبيتها بمعدل سرعة يمكن التنبؤ به. معدل السرعة التى يتم بها ذلك يختلف، إلا أنه يكون معدلا مميزا لجينات معينة، وباعتبار أن معظم الطفرات تكون محايدة، فإن هذا بالضبط هو ما يجعل الساعات الجزيئية ممكنة.

التثبيت هو الأمر المهم للساعة الجزيئية؛ لأن الجينات التى "ثبتت" هي ما ننظر إليه عندما نقارن بين حيوانين حديثين لنحاول تقدير الزمن الذى مضى منذ أن انقسم سلفاهما في انفصال. الجينات التى ثبتت هي جينات مميزة للنوع. إنها الجينات التى لا تكون أبدا شاملة في المستودع الجينى. في استطاعتنا أن نقارن بين الجينات التى غدت مثبتة في أحد الأنواع مع الجينات التى أصبحت مثبتة في نوع آخر، حتى نقدر مدى الزمن الذى انقضى منذ انقسم النوعان في انفصال. هناك بعض الصعوبات التى لن أدخل فيها هنا لأننى ناقشتها بالكامل أنا ويان ونج في كتاب "خاتمة لحكاية الدودة المخملية". الساعة الجزيئية تعمل بنجاح، مع بعض التحفظات، ومع شتى عوامل التصحيح المهمة.

الساعات الإشعاعية تتك بسرعات تتغاير تغايرا هائلا، بحيث يتراوح عمر النصف ابتداء من أجزاء من الثانية ووصولا إلى عشرات البلايين من السنين، وبمثل ذلك أيضا فإن الجينات المختلفة توفر مدى واسعا مذهلا من الساعات الجزيئية، يناسب تأريخ زمن التغير التطورى بمقاييس تتراوح من مليون سنة إلى بلايين السنين، وكل ما بين ذلك من مراحل. وكما أن كل نظير مشع له عمر نصف مميز له، فإن كل جين له أيضا معدل سرعة تقلاب مميز له – معدل السرعة الذى يتم به أن تنال الطفرات تثبيتها نمطيا عن طريق الصدفة العشوائية. جينات "الهستون" لها سرعة تقلاب مميزة بمعدل طفرة كل بليون سنة. جينات ببتيد الفيبرينوجين تقلابها أسرع من ذلك بألف مرة، بمعدل تثبيت طفرة جديدة واحدة كل مليون سنة. سيتوكروم سى وحاشيته من جينات الهيموجلوبين لها معدل تقلاب في الوسط، يقاس فيه التثبيت بملايين إلى عشرات الملايين من السنين.

الساعات الإشعاعية هي والساعات الجزيئية لا يتك أى منهما بأسلوب منتظم مثل ساعة البندول أو ساعة اليد. لو أمكننا أن نسمعها وهى تتك ستكون مشابهة

لعداد "جيجر"، وهذا يصدق حرفيا على الساعات الإشعاعية لأن عداد جيجر هو بالضبط ما نستخدمه للاستماع لها. عداد جيجر لا يتك بانتظام مثل ساعة اليد، فهو يتك عشوائيا، وتأتى تكاته في تفجرات غريبة متلعثمة. هذه هي الطريقة التى تبدو عليها الطفرات والتثبيتات، إذا استطعنا الاستماع لها على مدى الزمان الجيولوجى الطويل طولا هائلا. ولكن سواء كان هناك تلعثم مثل عداد جيجر أو تكات بإيقاع مثل ساعة اليد، فإن الشىء المهم في أى جهاز لتسجيل الوقت هو أنه ينبغى أن يتك بمعدل له "متوسط" معروف. هذا هو ما تفعله الساعات الإشعاعية، وما تفعله الساعات الجزيئية.

قدمـــت الساعـــة الجـــزيئية بقولى أنها تفترض أن التطور حقيقة، وبالتالى لا يمكن اتخاذها كدليل عليه. أما الآن وقد فهمنا كيف تعمل هذه الساعة، فإننا نستطيع أن نرى كيف أنى كنت متشائما لأكثر مما ينبغى. إن مجرد وجود الجينات الكاذبة – تلك الجينات التى لا فائدة منها ولا يتم نسخها ولكنها تتصف بمشابهة ملحوظة بالجينات المفيدة – مجرد وجود هذه الجينات فيه المثل المثالى الكامل للطريقة التى يتم بها للحيوانات والنباتات أن يُسجل تاريخها عليها كلها. إلا أن هذا موضوع مهم ينبغى أن ينتظر للفصل التالى.

الفصل الحادى عشر

التاريخ المسجل علينا كلنا

بدأت هذا الكتاب بتخيل مدرس للغة اللاتينية وقد أُجبر على تضييع وقته وجهده ليدافع عما يفترض من أن الرومان ولغتهم كان لهم وجودهم قطعا. دعنا نعود لهذه الفكرة لنسأل عما تكونه بالفعل الأدلة على وجود الإمبراطورية الرومانية واللغة اللاتينية. أعيش في بريطانيا حيث تركت روما بصمتها فوق كل خريطتها كما فعلت في سائر أوروبا، فشقت طرقها عبر كل مشهدنا الخلوى، ونسجت لغتها مع لغتنا ونسجت تاريخها من خلال أدبنا. هيا نسير بطول "جدار هادريان"، الذى لا يزال اسمه المحلى المفضل هو "الجدار الرومانى"، نسير مثلما كنت أسير في كل يوم أحد بعد الآخر في تشكيل من صفين بدءا من مدرستى الداخلية في ساليسبورى الجديدة (نسبيا)، حتى القلعة الرومانية المبنية بالصوان في ساروم القديمة، ونتواصل في حديث حميم مع الأشباح المتخيلة لموتى فرق الجيش. هيا ننشر خريطة مصلحة المساحة لإنجلترا. أينما نرى طريقا في الريف يمتد طويلا ومستقيما، خاصة عندما تكون هناك ثغرات من حقول خضراء بين امتدادات الطريق أو دروب العربات التى يمكنك بالضبط أن تخط عليها خطا بالمسطرة، فإنك عندها وكأنك تكاد تجد دائما بجوار ذلك بطاقة رومانية مميزة. بقايا الإمبراطورية الرومانية موجودة من حولنا في كل مكان.

الأجسام الحية لديها أيضا تاريخها المسجل عليها كلها. تعج هذه الأجساد بالمرادفات البيولوجية لما هو رومانى من الطرق، والجدران، والنصب التذكارية، وشدف الفخار، بل حتى أيضا نقوش قديمة محفورة فوق دنا الحى، جاهزة لأن يفك الباحثون شفرتها.

تعج الأجساد؟ نعم، تعج بالمعنى الحرفى. عندما تحس بالبرد، أو بخوف شديد، أو تتقمصك البراعة الفنية الفذة لسوناتا لشكسبير، فإن جلدك يقشعر. لماذا؟ لأن أسلافك كانوا ثدييات طبيعيـــة يغطيها الشعـــر كلها، وهـــذا الشعـــر ينتصب أو ينخفض حسب تعليمات أجهزة ثرموستات جسدية حساسة. إذا أحسست ببرد شديد ينتصب الشعر ليقيم طبقة عازلة من الهواء المحتبس بينه. فإذا أحسست بدفء شديد، يتسطح هذا الدثار ليتيح لحرارة الجسم أن تنطلق خارجا بسهولة أكبر. مع ما تلى ذلك من تطور تم اختطاف نظام انتصاب الشعر ليستخدم لأغراض التواصل الاجتماعى، وليصبح مرتبطا "بالتعبير عن الانفعالات"، وكان داروين من بين أول من أدركوا ذلك في كتاب له بهذا العنوان. لا أستطيع أن أقاوم رغبتى في إشراكك معى حول بعض السطور من قطوف داروين من ذلك الكتاب:

"مستر ساتون حارس ذكى في حديقة الحيوان، وقد راقب لى بحرص الشمبانزى والأورانج؛ وهو يقرر أنها عندما تصاب فجأة بالخوف، كما يحدث نتيجة عاصفة رعدية، أو عندما يستثار غضبها، كما يحدث عند مضايقتها، فإن شعرها ينتصب. شاهدت ذات مرة الشمبانزى وقد أزعجه مرأى حمّال فحم أسود، فارتفع شعره فوق كل جسده – أخذت ثعبانا محنطا إلى بيت القرود، وانتصب في التو شعر أفراد أنواع عديدة منها... عندما أظهرت ثعبانا محنطا لحيوان البقّرى، ارتفع شعره بطول ظهره على نحو رائع؛ كما ارتفع كذلك شعر خنزير برى عندما أثير حنقه".

شعر عنق وظهر الحيوان يرتفع عند الغضب. الشعر ينتصب أيضا لآخره عنـــد الخـــوف ليزيد من الحجم الظاهرى للجسم ويرعب بعيدا المنافسين الخطرين أو المفتـــرسين. بـــل حتى نحن القردة العليا العارية لا يزال لدينا الماكينة لرفع شعر لا يوجد (أو لا يكاد يوجد)، ونسمى ذلك قشعريرة. ماكينة انتصاب الشعر هي

"أثر باق"، بقية بلا وظيفة لشيء كان يؤدى مهمة مفيدة عند أسلافنا الذين ماتوا من زمن طويل. البقايا الأثرية للشعر هي مثل واحد من بين أمثلة كثيرة من التاريخ المسجل علينا كلنا. وتشكل هذه البقايا الأثرية دليلا مقنعا على أن التطور قد حدث حقا، وهى مرة أخرى أدلة لا تأتى من الحفريات وإنما من الحيوانات الحديثة.

كما رأينا في الفصل السابق، عندما قارنت بين الدرفيل وسمكة تقاربه حجما مثل سمكة أبى سيف، لم تكن هناك حاجة لأن ننقب عميقا جدا داخل الدرفيل لنكشف عن تاريخ حياته فوق الأرض الجافة. رغم أن للدرفيل شكله الانسيابى، ومظهره الخارجى المشابه للسمك، ورغم حقيقة أنه يحيا الآن حياته كلها في البحر، ويموت سريعا إذا أُخرج للشاطئ، إلا أن الدرفيل، بخلاف سمك أبى سيف، فيه خصائص "الثدييى الأرضى" منسوجة في سداه ولحمته. لدى الدرفيل رئة وليس لديه خياشيم، وسوف يغرق مثل أى حيوان أرضى إذا حُرم من الصعود للهواء، وإن كان يستطيع أن يحبس أنفاسه لزمن أطول كثيرا من أى ثديي أرضى. جهاز الدرفيل لتنفس الهواء قد تغير بكل أنواع السبل ليتلاءم مع عالمه المائى. بدلا من أن يتنفس من خلال منخرين عند طرف أنفه مثل أى ثديي أرضى طبيعى، فإن له منخر وحيد عند قمة رأسه يمكنه من أن يتنفس فحسب تو خروجه من السطح. "فتحة التنفس" هذه لها صمام غلق محكم ليُبقى الماء بعيدا، وعرضها واسع ليقلل لأدنى حد من الوقت اللازم للتنفس. في ١٨٤٥ كتب فرنسيس سيبون المبجل[١]

---

(١) في بريطانيا كانت كلمة المبجل "Esq" تعنى السيد النبيل "gentleman" (وهى لا تزال تعنى ذلك في بريطانيا وان كان استعمالها هكذا قد أخذ ينقرض سريعا)، الكلمة إذن في بريطانيا تعنى ما سبق، ولا تعنى "المحامى" كما في أمريكا (وهو أمر اكتشفته حديثا). بل أننى قد قابلت حتى محاميات أمريكيات إناث يشرن لأنفسهن بكلمة "المبجل". يبدو هذا للأفراد الإنجليز شاذا، مثلما لا بد وأن يبدو للأمريكيين عندما يسمعون تلقيب أول قاضية عليا من الإناث بأنها صاحبة العدالة "Lord Justice" إليزابيث بتلر – سلوس، (لقب صاحبة العدالة=

خطابا إلى الجمعية الملكية، ومن المرجح إلى حد كبير أن داروين كزميل بالجمعية قد قرأه " ويقول فيه سيبون:" العضلات التى تفتح وتغلق فتحة التنفس، وتُحدث مفعولها في الأكياس المختلفة، تشكل ماكينة تقدمها الطبيعة أو الفن، هي من أكثر الماكينات تعقيدا وإن كانت منظمة بإتقان رائع". فتحة التنفس عند الدرفيل تقطع أشـــواطا هائلة لتصحح مشكلة لم تكن لتنشأ مطلقا لو كان الدرفيل يتنفس بالخياشيم لا غير، مثل أى سمكة. كما أن الكثير من تفاصيل فتحة التنفس يمكن النظر إليها باعتبارها تصحيحات لمشاكل فرعية نشأت عندما انتقل مأخذ الهواء من المنخارين إلى قمة الرأس. لو كان هناك حقا تصميم مسبق لتم تخطيط ذلك في المقام الأول داخل قمة الرأس. هذا إذا لم يكن مما تقرر في هذا التصميم أن يتم إلغاء الرئة والاتجاه على أى حال إلى الخياشيم. سنجد باستمرار خلال هذا الفصل كله أمثلة للتطـــور عنـــدما يصحح "خطأ" أصليا أو أثرا تاريخيا عن طريق تعويض لاحق أو تعديـــل حـــاد، وذلك بـــدلا من العودة وراء إلى لوحة الرسم كما كان سيحدث لو كان هناك وجود لأى تصميم مسبق حقيقى. على أى حال، فإن الباب البارع المعقد المؤدى إلى فتحة التنفس فيه شهادة بليغة تدل على سلف الدرفيل البعيد فوق الأرض الجافة.

يمكننا بطرائق لا حصر لها أن نقول أن الدرافيل والحيتان لديها تاريخها القديم مسجل عليها كلها ومن خلالها، مثل آثار طرق رومانية شقت في دروب مستقيمة للعربات وممرات عبر خريطة إنجلترا. ليس للحيتان سيقان خلفية، ولكن هناك عظام بالغة الصغر مدفونة عميقا بداخلها، هي بقايا حزام الحوض والسيقان

= هو المرادف البريطانى لقاضى المحكمة العليا). استخدام كلمة "Esq" في إنجلترا يبدو حتى أكثر شذوذا لأفراد كثيرين في سائر العالم. وقد قيل أن حجيرة الخزن" E " في الفادق في العالم كله هي حجيرة مليئة بخطابات لم تستلم وتبحث عن المستر المبجل "Esq".

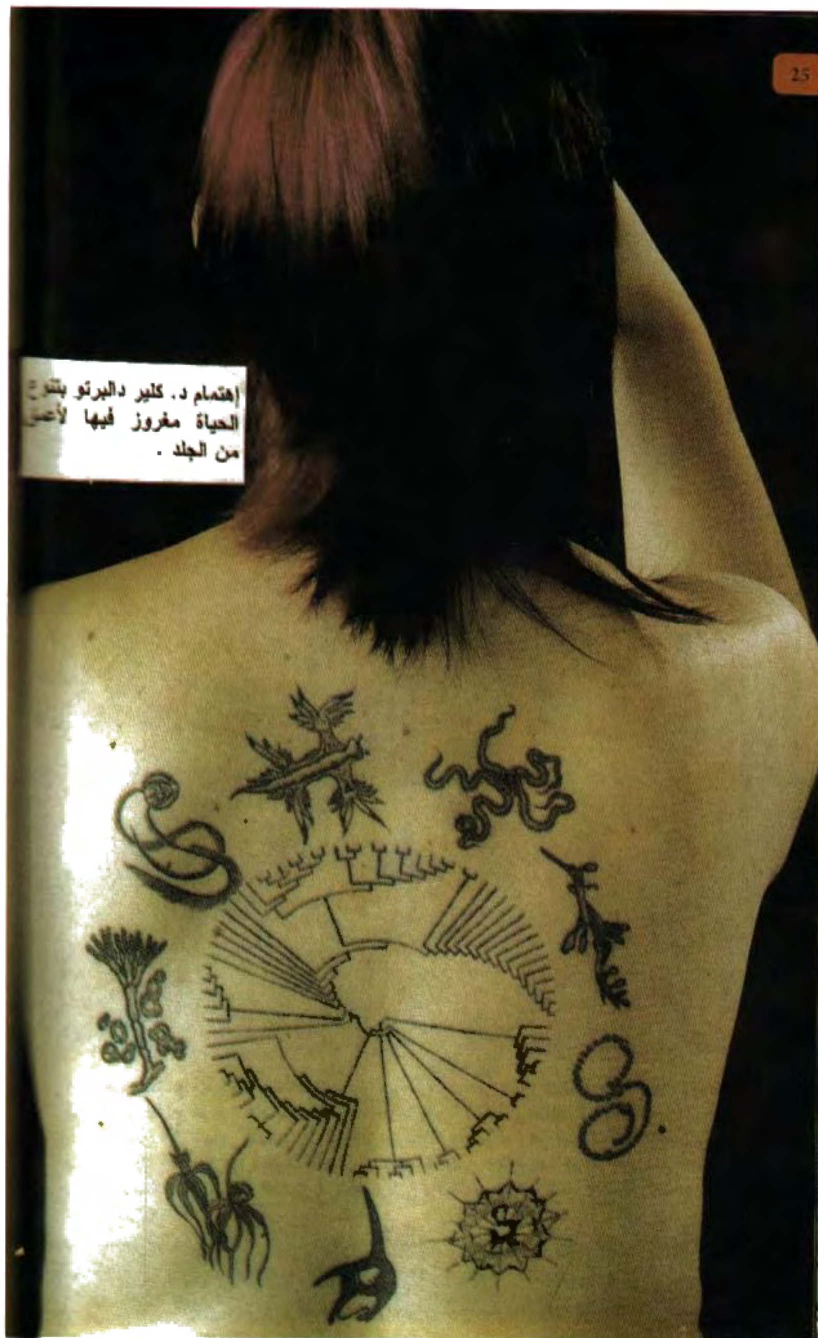
الخلفية لأسلافها التى كانت تمشى والتى راحت من زمن طويل. يصدق الشىء نفسه على الحيلانيات أو بقر البحر (سبق لى ذكرها مرات عديدة: حيوانات خروف البحر والأطوم وبقر البحر النجمى الذى يصل طوله إلى ٨ ياردات، وانقرض بصيد البشر له)[١][*]. الحيوانات الحيلانية تختلف تماما عن الحيتان والدرافيل، ولكنها المجموعة الأخرى الوحيدة من الثدييات البحرية بالكامل التى لا تخطو أبدا إلى الشاطئ. وبينما نجد أن الدرافيل لا حمات ذكية ونشطة وسريعة، فإن حيوانات بقر البحر والأطوم عاشبات بطيئة غارقة في الأحلام. زرت أكواريوم لبقر البحر في غرب فلوريدا، ولأول مرة لا يثور حنقى بسبب الموسيقى التى تذاع من مكبرات الصوت. كانت موسيقى هادئة ناعمة وبدت بخمولها البالغ ملائمة تماما بما يغفر لها كل شىء آخر. حيوانات بقر البحر والأطوم تعوم بلا جهد في توازن هيدروستاتى، وليس بواسطة مثانة للعوم كما تفعل الأسماك (انظر بأسفل)، وإنما من خلال تجهيزها بعظام ثقيلة تعمل كثقل موازن لقابلية دهنها طبيعيا للطفو. وبالتالى، فإن كثافتها النوعية تكون قريبة جدا لكثافة الماء النوعية، وهى تستطيع القيام بتعديلات رهيفة لذلك بأن تشد أو تمط من قفص ضلوعها. تزداد دقة تحكمها في طفوها بامتلاكها لتجويف منفصل لكل رئة: ولديها هكذا عضلتا حجاب حاجز منفصلتان.

---

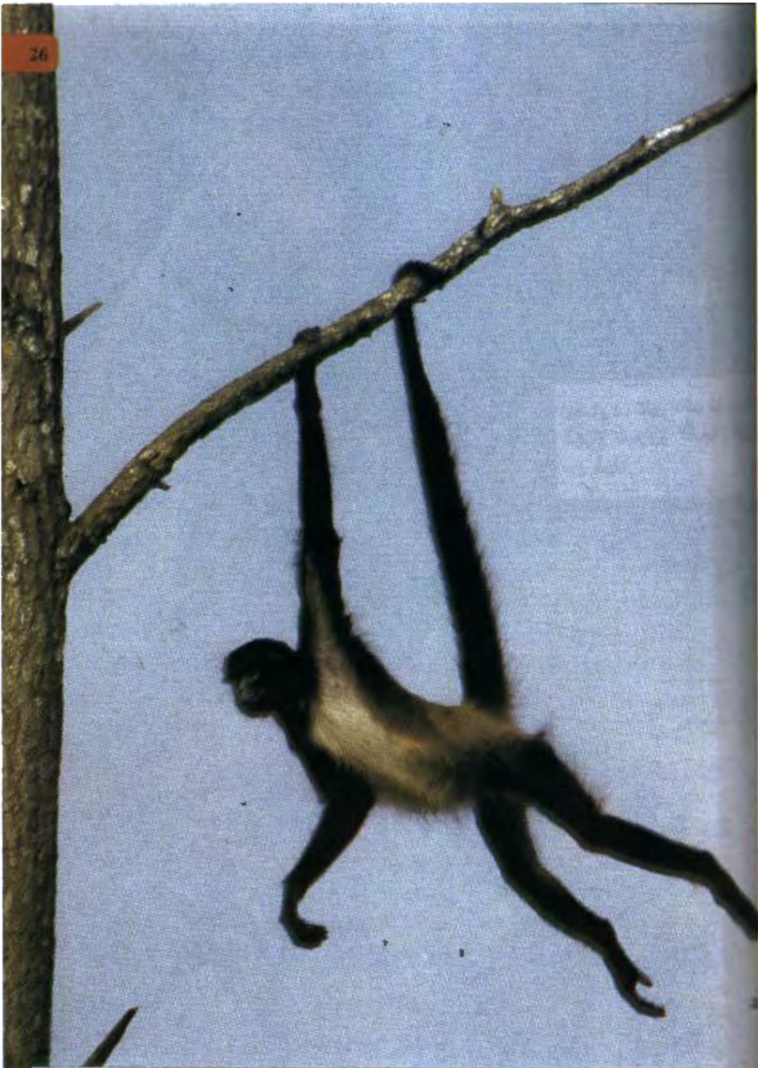
(١) لعل ارتباط الحيلانيات (Sireniant) بالسيرانات (Syrens) الأسطورية يرجع إلى العادة التى تتشارك فيها مع أقاربها الأرضية من الأفيال، وهى عادة إرضاع صغارها من الأثداء الصدرية. ربما كان البحارة المحبطون جنسيا لبقائهم في البحر زمنا طويلا جدا قد شهدوا ذلك من على بعد وأخطأوها على أنها من النساء. أحيانا تعد الحيوانات الحيلانية مسئولة عن أسطورة عروس البحر.

(*) السيرانات كائنات أسطورية عند الإغريق لها رؤوس إناث وأجسام طيور، وتسحر البحارة بغنائها فيضلون ويهلكون.(المترجم)

الدرافيل والحيتان، وحيوانات الأطوم وبقر البحر تلد أطفالا أحياء مثل كل الثدييات. هذه العادة ليست في الواقع خاصة بالثدييات. هناك أسماك كثيرة تلد أحياء، ولكنها تفعل ذلك بطريقة مختلفة جدا (الواقع أنها تفعل ذلك بصنوف رائعة من طرائق مختلفة تماما، لا شك أنها قد تطورت على نحو مستقل). مشيمة الدرفيل نوعها ثديى بما لا يمكن إخطاؤه، وبالتالى فإن من عادة الدرافيل أن ترضع أطفالها باللبن. كما أن مخها هو بما يتجاوز كل شك مخ لثديى، وهو من هذه الناحية مخ ثديى متقدم تماما. القشرة المخية في الثدييات هي طبقة من المادة السنجابية تحيط بالمخ من الخارج. حتى يزيد ذكاء المخ يتم هذا في جزء منه بزيادة مساحة الطبقة السنجابية. يمكن أن يحدث ذلك بزيادة الحجم الكلى للمخ، وكذلك الجمجمة التى تؤويه. إلا أن هناك عيوبا في أن يكون للحيوان جمجمة كبيرة. فمن ناحية يؤدى ذلك إلى زيادة صعوبة الولادة. وكنتيجة لذلك فإن الثدييات الذكية تحتال حتى تزيد مساحة الطبقة السنجابية بينما تظل باقية في حدود الحيز الذى تصنعه الجمجمة بحجمها، وهى تفعل ذلك بأن تجعل الطبقة كلها في طيات وشقوق عميقة. هذا هو السبب في أن المخ البشرى يبدو كثمرة جوز متغضنة؛ أمخاخ الدرافيل والحيتان هي الوحيدة التى تنافس أمخاخ القردة العليا في تغضنها. أمخاخ الأسماك ليس فيها مطلقا أى تغضنات، بل ليس لديها فى الحقيقة قشرة سنجابية، والمخ كله بالغ الصغر عند مقارنته بمخ الدرفيل أو الإنسان.



إهتمام د. كلير دالبرتو بتنو
الحياة مغروز فيها لأعم
من الجلد .



(a) عندما تحتاج الحيوانات متسلقة الأشجار إلى طرف خامس فإنها لا تنمي طرفا جديدا وإنما تدفع إلى خدمتها ما هو موجود فيها من قبل. هذه صورة للقرد العنكبوتي بغابات أمريكا الجنوبية .

(b) الكلوجو أو "الليمور الطائر" في غابات جنوب شرق آسيا، وهو ليس مطلقا بالليمور ، وإنما يشغل زاويته الفريدة في شجرة الثدييات . وهو لا يطير حقا وإنما ينزلق من شجرة للأخرى، والكلوجو بخلاف "السنجاب الطائر" (من القوارض) و"الفلنجر الطائر" (من الكيسيات) يدمج ذيله في غشاء الانزلاق.

(c) خفاش الفاكهة المصري ، وله أجنحة شفافة تظهر على نحو رائع تشاكل هيكله العظمي مع أيدينا


27
b


c





بقايا الأجنحة عند هذه الطيور التي لا تطير تكشف جليا عن انها سلالة منحدرة من أسلاف تطير.

(a) النعام لا يزال يستخدم الأجنحة ، ولكن ذلك يكون فقط لأغراض حفظ التوازن ولأغراض اجتماعية.

(b) غاق جالاباجوس الذي لا يطير ، ومع ذلك فإنه ينشر جناحيه غير المفيدين لمجرد أن يجفا ، بمثل ما يفعله أبناء عمومته المألوفة بأكثر والتي تطير . وهو صائد سمك خبير يصطاده من تحت الماء (c) ولكنه بخلاف البطريق لايستخدم جناحيه للسباحة ، وإنما يدفع نفسه متقدما باندفاعات عنيفة من قدميه الكبيرين المكففين بالجليدات. (d) "مما يوصف له حسب قول دوجلاس آدمز ، أن الكاكاب (الببغاء النيوزلندي) لا يقتصر أمره على أنه قد نسي كيف يطير ، وإنما هو قد نسي أيضا أنه قد نسي كيف يطير . من الواضح أن الكاكاب عندما ينزعج بشدة يجري أحيانا ليعلو شجرة ثم يثب منها ، ليطير كقطعة طوب ويحط منكوما بلا رشاقة فوق الأرض.



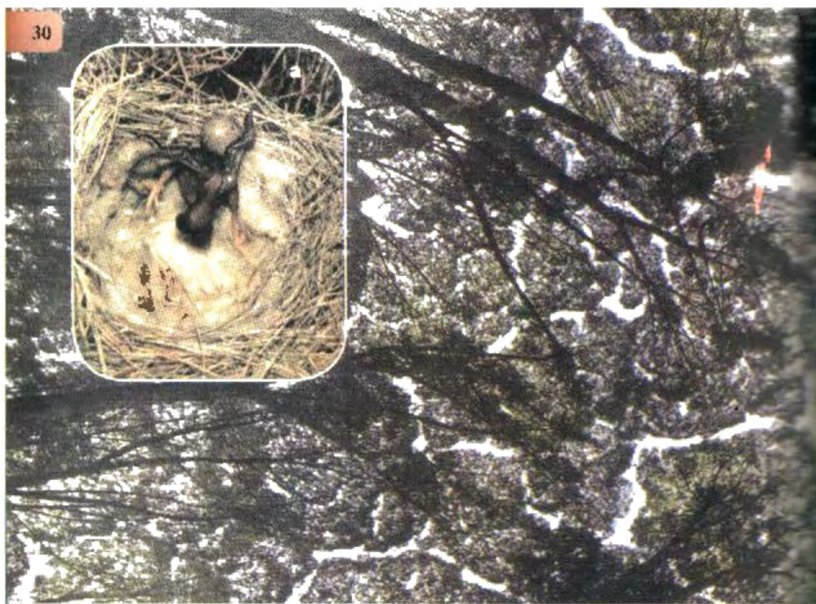




(f) الحيوانات ساكنة الكهوف مثل هذا السلمندر كثيرا جدا ما تكون بيضاء . ولكنها على الرغم من أنها لا تستخدم عيونها في الكهوف المظلمة إلا أنها تهتم بتصغيرها . ما هو سبب ذلك ؟ أنظر نص الكتاب فيما بعد في هذا الفصل. (g) الدرافيل الثديية تشبه ظاهريا السمك الكبير الذي يسبح سريعا ، مثل سمك أبي سيف، وذلك لأنهما يقيمان أودهما بطريقة متماثلة .

(e) الاجنحة تشكل عبئا تحت الارض ، وربما يكون هذا هو السبب في أن النمل الشغيل لاينميها. أقوى دليل على ذلك ما تمدنا به ملكات النمل ، التي تستخدم أجنحتها مرة واحدة فقط، لتنطلق طائرة من عش المولد، لتجد رفيقا من الذكور ، ثم تحط هابطة لتحفر ثقبا لعش جديد. وهي عندما تبدأ حياتها الجديدة تحت الأرض يكون أول ما تفعله هو أن تفقد أجنحتها، ويكون ذلك في بعض الحالات بأن تعضها بالمعنى الحرفي حتى تزيلها.




30

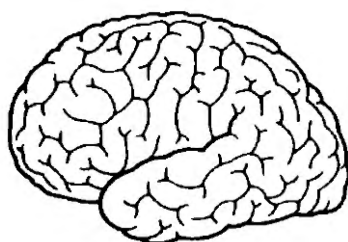


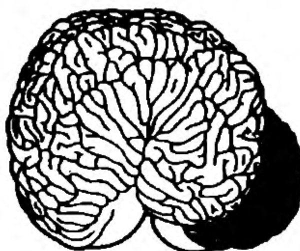


نتائج سباق التسلح التطورى :
(a) أيها الوقواق يقاتل عصفور السياج فوق غصنه. الوقواق الوليد يقتل غريزيا أخيه بالتبنى قبل أن يستطيع أن يفقس لينافسه على الطعام . (b) هذا الكودو (kudw) أو الظبى الوحشى الأفريقى قد خسر سباقه الفردى مع لبؤة وسوف تنتهى حياته سريعاً، ولكن سباق التسلح بين المستودعين الجينيين للنوعين يظل يجرى في الزمان التطورى . (c) يضع دبور طفيلى النزعة بيضه داخل هذا اليسروع، والصورة تظهر ديدان الدبور وهى تندفع خارجة، مفعمة بالحياة، لتسهم بجيناتها في الجيل التالى. (d) الضوء في اقتصاد الغابة سلعة ثمينة . لايوجد إلا القليل منه تحت ظلة الغابة، لأن الظلة نفسها تتقوم للخارج فيما بين الأشجار المفردة ولا يكاد يوجد فيها اى ثغرة.



ليس من باب الصدفة أننا نرى اللون الأخضر موجود تقريبا أينما ننظر ... لولا أن النباتات الخضراء تفوقنا عددا بما لا يقل عن نسبة العشرة إلى الواحد ، لما وُجدت أى طاقة تمدنا بالقوى.







مخ الإنسان (في الأعلى)، مخ الدرفيل (في الوسط)، ومخ السلمون المرقط البنى (في الأسفل)

التاريخ الثديى للدرفيل محفور عميقا في سطح مخه المتغضن. هذا جزء من خواصه كثديى، بما يماثل المشيمة، وإفراز اللبن، ووجود أربع حجرات للقلب، وأن يتكون الفك السفلى من عظمة واحدة فقط، وأن يكون الدم ثابتا على دفئه، وغير ذلك من الملامح الكثيرة الخاصة بالثدييات.

الحيــوانات ذات الدم الحار الثابت على دفئه هي الثدييات والطيور، إلا أن ما لديها هكذا هو في الحقيقة قدرتها على الإبقاء على حرارتها ثابتة، بصرف النظر عن الحرارة الخارجية. هذه فكرة ممتازة لأنها تجعل التفاعلات الكيميائية في الخلية تجرى على الوجه الأمثل عند درجة حرارة معينة. الحيوانات ذوات "الدم البارد" ليست باردة بالضرورة. دم السحلية يكون أدفأ من دم الثدييات إذا اتفق لهما أن يكونا معا في الخارج في شمس منتصف النهار في صحراء أفريقيا. دم السحلية يكون أبرد من أحد الثدييات إذا كانا معا في الجليد. الحيوان الثديى لديه الحرارة نفسها طول الوقت، وعليه أن يعمل كادحا ليبقى على ثباتها، مستخدما في ذلك ميكانزمات داخلية. السحالى تستخدم وسائل خارجية لتنظيم درجة حرارتها، فتتحرك إلى الشمس إذا احتاجت إلى تدفئة نفسها، وتتحرك إلى الظل إذا احتاجت إلى أن تبرد من حرارتها. الثدييات تنظم حرارة جسمها على نحو أكثر دقة، والدرافيل لا تستثنى من ذلك. مرة أخرى، تاريخ الدرافيل مسجل فوقها كلها، حتى وإن كانت قد ارتدت إلى الحياة في البحر، حيث معظم الحيوانات لا تحافظ على درجة حرارة ثابتة.

أجنحة كانت يُفخر بها ذات يوم

تزخر أجساد الحيتان والحيلانيات بآثار تاريخية نلحظها لأنها تعيش في بيئة تختلف تماما عن بيئة أسلافها ساكنى الأرض. ينطبق مبدأ مماثل على الطيور التى فقدت عادة الطيران والأجهزة اللازمة له. الطيور ليست كلها تطير، إلا أن الطيور تحمل على الأقل آثارا لجهاز الطيران. طيور النعام والأمو تجرى بسرعة ولكنها لا تطير أبدا، إلا أن لديها بقايا أجنحة كميراث من أسلافها البعيدة التى كانت تطير. وفوق ذلك فإن بقايا أجنحة النعامة لم تفقد فائدتها بالكامل. هذه البقايا وإن كانت أصغر

حجما من أن يطير بها النعام، إلا أنه يبدو أن لها بعض دور في التوازن وتوجيه الحركة أثناء الجرى، كما أنها تشارك في عروض اجتماعية وجنسية. أجنحة الكيوى بالغة الصغر حتى أنها لا يمكن رؤيتها خارج دثار الطائر من الريش الدقيق، إلا أن هناك بقايا من عظام الجناح. طيور الموَة (Moas) فقدت أجنحتها بالكامل. وفيما يعرض فإن نيوزيلندا موطن طيور الموة لديها نصيب وافر من الطيور التى لا تطير، وربما يكون سبب ذلك أن عدم وجود الثدييات قد ترك مساحة واسعة شاغرة من مأوى البيئة يمكن أن يملأها أى كائن حى يستطيع الوصول هناك بالطيران. إلا أن هؤلاء الرواد ممن كانوا يطيرون، وصلوا هناك بواسطة أجنحتهم، ثم فقدوها فيما بعد عندما ملأوا دور الثدييات الشاغر فوق الأرض. ربما يكون هذا مما لا ينطبق على طيور الموة نفسها، التى يتفق أن أسلافها كانت بالفعل لا تطير قبل أن تتفتت القارة العظمى جوندوانا الجنوبية إلى شظايا، من بينها نيوزلندا، وكل شظية منها تحمل شحنتها من حيوانات جوندوانا. من المؤكد أن هذا ينطبق على الكاكاب (kakapo)، ببغاء نيوزيلندا" الذى لا يطير، ومن الواضح أن أسلافه عاشت في زمن بالغ الحداثة حتى أن الكاكاب لا يزال يحاول الطيران على الرغم من أنه ينقصه الجهاز اللازم لنجاحه في ذلك. وحسب كلمات الخالد دوجلاس آدمز(*) في كتابه "آخر فرصة للرؤية":

> **"إنه طائر سمين للغاية. الطائر البالغ منه له حجم جيد يزن ما يقرب من ستة إلى سبعة أرطال، وجناحاه صالحان بالكاد لأن يتهزهز إذا خطر له أنه على وشك أن يتعثر فوق شىء – أما الطيران فأمر غير وارد مطلقا. على أنه مما**

(*) دوجلاس آدمز (١٩٥٢ – ٢٠٠١) كاتب ومؤلف دراما إنجليزى ونصير للحيوانات والبيئة ومحب للعلم. (المترجم)

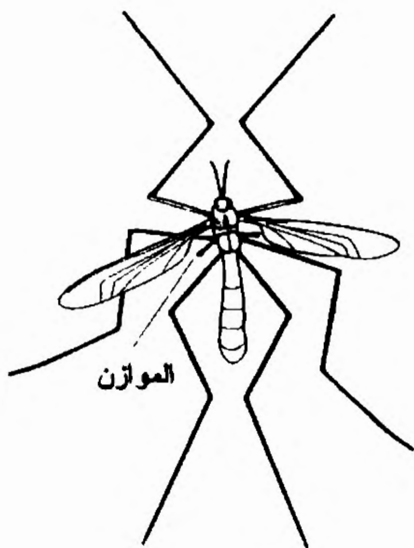
يؤسف له أنه يبدو أن الكاكاب لا يقتصر أمره على أنه قد نسى كيف يطير، وإنما هو قد نسى أيضا أنه قد نسى كيف يطير. من الواضح أن الكاكاب عندما ينزعج بشدة فإنه يجرى أحيانا ليعلو شجرة ثم يثب منها، ليطير كقطعة طوب ويحط متكوما بلا رشاقة فوق الأرض".

طيور النعام، والأمو، والرية (rhea)، طيور هائلة في الجرى، في حين أن طيور البطريق، وغاق (cormorant) جالاباجوس الذى لا يطير طيور هائلة في السباحة. كان لى الشرف بأن أسبح مع غاق لا يطير في بركة صخرية كبيرة في جزيرة إيزابلا، وأسعدنى أن أشهد سرعته ورشاقته وهو يسعى ليخرج من شق تحت الماء للآخر، باقيا تحت سطح الماء لزمن طويل يأخذ بالأنفاس (كان لى ميزة استخدام جهاز غطس). طيور البطريق تستخدم أجنحتها القصيرة "لتطير تحت الماء"، أما غاق جالاباجوس فهو بخلاف ذلك يدفع نفسه باستخدام سيقانه القوية وقدمه الضخمة المكففة بالجليدات، ويستخدم جناحيه فقط كأداة اتزان. إلا أن من الواضح أن كل الطيور التى لا تطير، بما في ذلك النعام وأشباهه، التى فقدت أجنحتها منذ زمن طويل جدا، من الواضح أنها كلها سلالة قد انحدرت من أسلاف استخدمت الأجنحة لتطير بها. لا يمكن لأى ملاحظ عاقل أن يشك جديا في حقيقة ذلك، وهذا يعنى أن أى شخص يفكر في هذا الأمر سيجد فيما ينبغى أن من الصعب جدا – إن لم يكن من المستحيل – أن يشك في حقيقة التطور.

هناك مجموعات عديدة مختلفة من الحشرات قد فقدت أيضا أجنحتها، أو أنها مختزلة إلى حد كبير. هناك حشرات لا أجنحة لها منذ البداية مثل الحشرة لاحسة السكر (silverfish)، إلا أن البراغيث والقمل، هي بخلاف ذلك قد فقدت الأجنحة التى كان أسلافها يمتلكونها ذات يوم. إناث العثة الغجرية لديها عضلات أجنحة

تناميها متدنى، وبهذا فإنها لا تطير. هذه الإناث لا تحتاج للأجنحة لأن الذكور تطير إليها، وقد جذبتها مادة كيميائية مغوية تستطيع اكتشافها حتى عند تخفيفها تخفيفا مذهلا. لو كان للإناث أن تتنقل مثل الذكور، لربما لا ينجح هذا النظام، ذلك أنه بحلول الوقت الذى يطير فيه الذكر مرتفعا إلى الممال الكيميائى الذى ينساق ببطء، فإن الإناث مصدر المادة الكيميائية ستكون قد تحركت لتنتقل بعيدا !

الذباب، بخلاف معظم الحشرات التى تمتلك أربعة أجنحة، لديه فقط جناحان، كما يدل على ذلك اسمه اللاتينى "Diptera". الجناحان الآخران أصبحا مختزلين إلى ما يسمى "بالموازنين"؛ وهذان يهتزان فيما حولهما بسرعة كبيرة مثل الهراوات الهندية للرياضة التى يشبهانها في الشكل، ويعمل الموازنان كجيروسكوبات أو أدوات توازن ضئيلة الحجم. كيف عرفنا أن الموازنين قد انحدرا من أجنحة الأسلاف. هناك أسباب عديدة لذلك. فهما يشغلان مكانا من حلقة الصدر الثالثة يماثل بالضبط المكان الذى تشغله أجنحة الطيران في حلقة الصدر الثانية (والحلقة الثالثة أيضا في الحشرات الأخرى). وهما يتحركان بالنمط نفسه في شكل حرف الثمانية الإنجليزى "8" بمثل نمط تحرك أجنحة الذباب. الموازنان يتّبعان إمبريولوجيا المسار نفسه كالأجنحة، وعلى الرغم من ضئالة حجمهما، إلا أننا عندما ننظر إليهما بعناية، خاصة أثناء تناميهما، نستطيع أن نرى أنهما أجنحة قد قُزمت، ومن الواضح أنه تم تعديلها مما كان أصلا أجنحة عند الأسلاف – هذا إلا إذا كنت ممن ينكرون التطور. يوجد ما يثبت القصة نفسها، وهو أن هناك ذباب فاكهة طافر، ما يسمى بطافرات جينات تعيين الموضع، ويكون هناك شذوذ في إمبريولوجية هذا الذباب فلا ينمى موازنين وإنما ينمى جناحين اثنين آخرين، مثل النحلة أو أى نوع آخر من الحشرات.

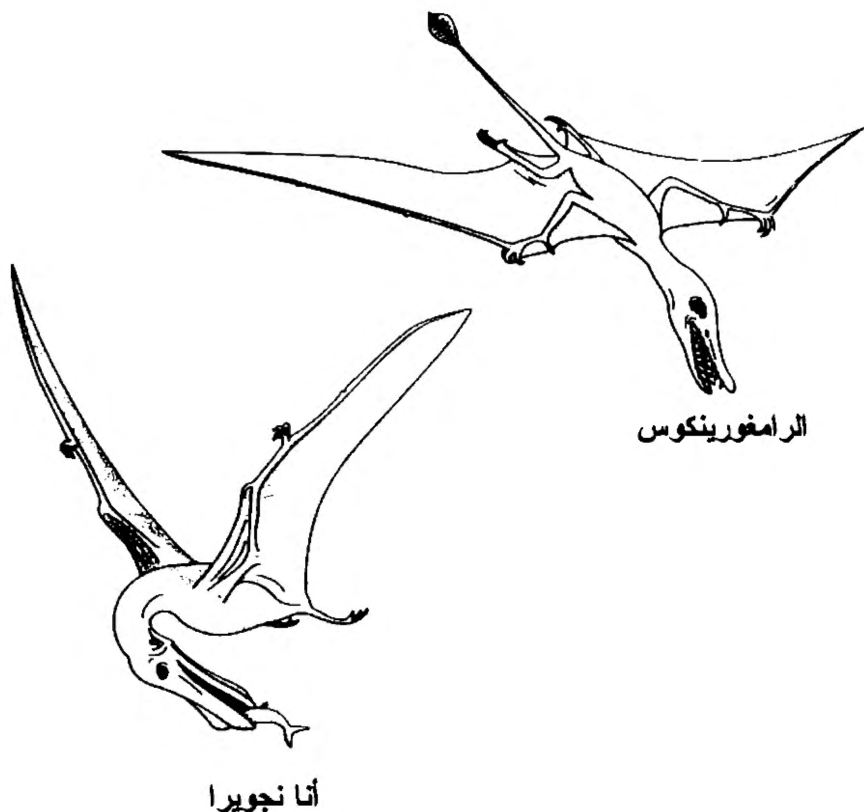


الموازنات في الذبابة الكركية

ما الذى كانت تبدو عليه المراحل التوسطية بين الأجنحة والموازنات، ولماذا حبذ الانتخاب الطبيعى هذه التوسطيات؟ ماهى فائدة نصف موازن؟ ج.و. س برنجل أستاذ قديم لى في أوكسفورد، أدت طلعته المتجهمة وطريقة حركته المتصلبة إلى أن أكسبته كنية " جون الضاحك"، وقد كان هو المسئول الرئيسى عن استنتاج طريقة عمل الموازنات. أوضح برنجل أن كل أجنحة الحشرات لديها عند قاعدتها أعضاء حس بالغة الصغر، تكتشف قوة اللف وغيرها من القوى. توجد عند قاعدة الموازنات أيضا أعضاء حس مماثلة تماما – وهذا دليل آخر على أن الموازنات أجنحة معدلة. قبل تطور الموازنات بزمن طويل، كانت المعلومات المتدفقة داخل الجهاز العصبى من أعضاء الحس عند قاعدتها تمكّن الأجنحة التى تئز بسرعة أثناء الطيران من أن تعمل كأجهزة جيروسكوب بدائية. أى ماكينة

تطير تكون طبيعيا غير مستقرة، وهى بمدى ما تكون هكذا تحتاج إلى تعويض ذلك عن طريق تجهيزها بأجهزة معقدة، كالجيروسكوبات مثلا.

مسألة تطور كائنات تطير بثبات أو بغير ثبات لهى مسألة تثير اهتماما بالغا. انظر إلى الصورة التالية لزاحفين طائرين منقرضين من البتيروسورات المعاصرة للديناصورات. يستطيع أى مهندس طيران أن يخبرك أن "الرامفورينكوس، *Rhamphorhynchus*" وهو البتيروسور الأقدم المرسوم في قمة الصورة، لا بد وأنه كان يطير متزنا بثبات، بسبب ذيله الطويل الذى ينتهى بما يشبه مضرب كرة المائدة "البنج بونج".



"الرامفورينكوس" لا يحتاج للتحكم المعقد بالجيروسكوب مثلما يفعله الذباب بموازناته، ذلك أن ذيل "الرامفورينكوس يجعله ثابتا فطريا. ومن الناحية الأخرى فإنه لن تكون له قدرة مناورة بدرجة كبيرة، الأمر الذى يمكن أن يخبرك به المهندس نفسه. هناك في أى ماكينة طائرة نوع من المقايضة بين الثبات والقدرة على المناورة. العالم العظيم جون ماينارد سميث عمل كمهندس طيران قبل أن يعود إلى الجامعة ليدرس علم الحيوان (على أساس أن الطائرات تثير ضجيجا وأصبحت من طراز عتيق)، وقد أوضح سميث أن الحيوانات الطائرة تستطيع التنقل في الزمان التطورى أماما وخلفا بطول مدى طيف من هذه المقايضات، فتفقد أحيانا ثباتها الفطرى في صالح زيادة قدرتها على المناورة، ولكنها تدفع الثمن في شكل تزايد توفير الأجهزة لها وتزايد قدرتها على الحوسبة – أى تزايد قدرة المخ. يظهر في أسفل الصورة السابقة الطائر الزاحف "أنانجويرا، *Anhanguera* "، وهو بتيروداكتيل متأخر من العصر الطباشيرى منذ ما يقرب من ٦٠ مليون سنة بعد "الرامفورينكوس" الذى ينتمى للعصر الجوراسى. "الأنانجويرا" يكاد لا يكون له ذيل مطلقا، مثل الخفاش الحديث. ومن المؤكد أنة مثل الخفاش كان كطائرة غير ثابتة، ويعتمد على الأجهزة والحوسبة ليمارس تحكما بارعا لحظة بلحظة على أسطح طيرانه.

"الأنانجويرا" طبعا ليس لديه موازنات. لعله كان يستخدم أعضاء حس أخرى لتزوده بما يرادف ذلك من المعلومات، ربما بواسطة القنوات نصف الدائرية للأذن الداخلية. وقد كانت هذه القنوات بالغة الكبر حقا في البتيروسورات التى تمت رؤيتها – وإن كان هناك لمحة عن ذلك فيها ما يخيب الأمل بصدد فرض ما ينارد

سميث، وهى أن هذه القنوات كانت كبيرة في "الرامفورينكوس" مثل كبرها في "الأناجويرا". ولكن إذا عدنا للذباب، فإن برنجل يقترح أن أسلاف الذباب ذات الأربعة أجنحة ربما كان لديها بطن أطول يجعلها ثابتة في طيرانها، وستعمل الأجنحة الأربعة كلها كجيروسكوبات بدائية. ثم يقترح أن أسلاف الذباب أخذت تتحرك بطول المدى المتصل للثبات، لتصبح أكثر قدرة على المناورة وأقل ثباتا، وذلك عندما أخذ البطن يزداد قصرا، وأخذت الأجنحة الخلفية تنزاح لأكثر تجاه القيام بوظيفة الجيروسكوب (وهى وظيفة كانت تقوم بها دائما إلى حد صغير وهى في شكل أجنحة)، وأصبحت هذه الأجنحة تزداد صغرا، وتزداد ثقلا بالنسبة لحجمها، في حين تضخمت الأجنحة الأمامية لتتولى بأكثر مهمة الطيران. سيكون هناك هكذا خط متصل تدريجى من التغير، يزداد فيه دائما قيام الأجنحة الأمامية بعبء الطيران، في حين تتكمش الأجنحة الخلفية لتتولى مهمة الأدوات الإلكترونية اللازمة للطيران.

تفقد شغيلة النمل أجنحتها، ولكنها لا تفقد القدرة على تنمية الأجنحة. لا يزال تاريخ أجنحتها يكمن داخلها. قد عرفنا ذلك لأن ملكات النمل (وذكوره) لديها أجنحة، والشغيلة إناث كان يمكن أن تكون ملكات، ولكنها لأسباب بيئية وليست وراثية قد فشلت في أن تغدو ملكات[١]. من المفترض أن شغيلة النمل قد فقدت أجنحتها في التطور لأنها مصدر إزعاج لها وتعترض الطريق تحت الأرض. هناك دليل بالغ القوة على ذلك توفره لنا ملكات النمل، التى تستخدم أجنحتها مرة واحدة، لتطير خارج عش مولدها، لتجد رفيقها الجنسى، ثم تحط لتحفر ثقبا لعش جديد.

---

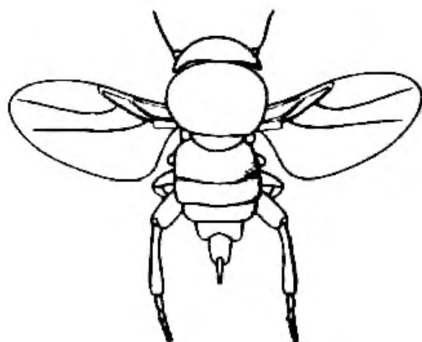
(١) اليرقات التى يتحدد مصيرها بأن تغدو ملكات تتغذى على إكسيرات خاصة تفرزها غدد في رأس الشغيلة المرضعة. من المهم جدا أن الاختلاف بين الملكات والشغيلة يتحدد بيئيا وليس وراثيا. قد شرحت ذلك باسهاب في كتابى "الجين الأنانى".

عند بدء حياتها الجديدة تحت الأرض يكون أول ما تفعله هو أن تفقد أجنحتها، وفى بعض الأحيان تتخلص منها بأن تعضها بالمعنى الحرفى للكلمة: في هذا دليل مؤلم (ربما ليس مؤلما؛ من يدرى؟) على أن الأجنحة مصدر إزعــاج تحــت الأرض. لا عجب في أن شغيلة النمل لا تنمى أبدا أى أجنحة في المقام الأول.

لعله ينتج عن الأسباب نفسها أن عش النمل وعش الأرضة يكون كل منها مأوى لحشد من طفيليات بلا أجنحة من أنواع كثيرة مختلفة، تتغذى على الفتات الغنية التى تتدفق للداخل من التيارات ذات الحفيف الدائم من النمل والأرضة وهى تعود من جلب الطعام. والأجنحة تشكل معوقا لهذه الطفيليات بما يماثل تماما أنها معوقة للنمل نفسه. من الذى يصدق بأى حال أن صورة المسخ السابقة هي لذبابة؟ إلا أننا نعرف من الدراسة الدقيقة التفصيلية لتشريحها أنها ليست فحسب ذبابة، وإنما نعرف أيضا أن هذه الذبابة التى تتطفل على عش الأرضة تنتمى إلى عائلة معينة من الذباب هي عائلة "الفوريدى، Phoridae ". الصورة التالية لذلك تصور عضوا من العائلة نفسهــا شكله طبيعى بأكثر، وهى فيما يفترض تشبه إلى حد ما الأسلاف المجنحة للكائن المسخ الغريب غير المجنح في الصورة الأسبق، وإن كانت الذبابة الأخيرة تتطفل هي أيضا على حشرات اجتماعية – هي في هذه الحالة النحل. تستطيع أن ترى أوجه الشبه للرأس ذات الشكل المنجلى للمسخ الغريب في الصورة الأسبق، كما أن أجنحة المسخ المقزمة يمكن رؤيتها بالكاد كمثلثات ضئيلة الحجم على الجانبين.



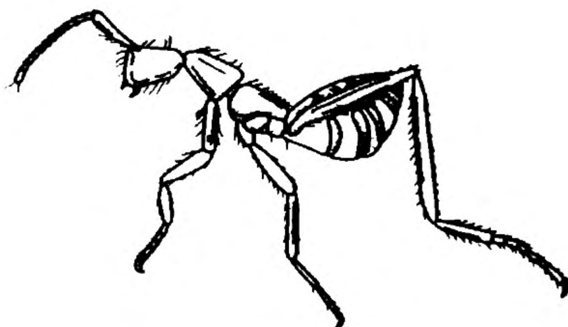
ذبابة طفيلية من عائلة "فوريدى، Phoridae



ذبابة أخرى من عائلة فوريدى

هناك سبب إضافى لعدم وجود أجنحة في هذه المجموعات من الدهماء المندسين وواضعى اليد في أعشاش النمل والأرضة. الكثير من هؤلاء (وليس ذباب عائلة الفوريدى) قد اكتسبت عبر الزمان التطورى تشابها في الشكل مع النمل فيه وقاية لها، إما بغرض خداع النمل أو بغرض خداع المفترسين المحتملين الذين بغير ذلك ربما سيلتقطونهم من بين حشرات النمل المحمية بأكثر أو الأقل استساغة

في طعمها، أو ربما بغرض خداع الاثنين معا. من منا عندما يلقى نظرة عارضة لا غير سوف يلاحظ في الصورة التالية التى تظهر حشرة تعيش في أعشاش النمل أن هذه الحشرة ليست نملة وإنما هي خنفساء؟ مرة أخرى كيف عرفنا ذلك؟ عن طريق أوجه الشبه العميقة التفصيلية للخنافس، والتى يفوق عددها إلى حد هائل الملامح السطحية التى تشبه بها الحشرة النمل: وذلك بالضبط بالطريقة نفسها التى عرفنا بهـــا أن الدرفيل ثديى ولـــيس



خنفساء متنكرة كنملة

بالسمك. هذه الحشرة لديها سلفها الخنفسى مسجل فيها كلها، وذلك فيما عدا استثناءات (كما في حالة الدرفيل) في تلك الملامح التى تحدد مظهرها السطحى، مثل عدم وجود أجنحة ومثل بروفيلها المشابه للنمل.

أعين مفقودة

فقدت حشرات النمل أجنحتها هي وزملاؤها في التنقل تحت الأرض، ونجد بمثل ذلك تماما أن صنوفا عديدة مختلفة من الحيوانات، التى تعيش في أعماق

الكهوف المظلمة حيث لا يوجد ضوء، قد اختزلت أو فقدت أعينها، وهى كما لاحظ داروين تكاد تكون عمياء. سُكت كلمة " ساكن الظلام، Troglobite"[1] لتدل على الحيوان الذى يعيش فقط في أظلم جزء من الكهوف ويبلغ من تخصصه في ذلك أنه لا يستطيع أن يعيش في أى مكان آخر. تشمل هذه الفئة حيوانات من السلمندر، والسمك، والجمبرى، وجراد البحر، والديدان الألفية، والعناكب، وصرار الليل وحيوانات أخرى كثيرة. وكثيرا جدا ما تكون هذه الحيوانات بيضاء، إذ تفقد صبغتها كلها، كما أنها تكون عمياء. على أنها عادة تحتفظ بآثار باقية للأعين، وهذا هو السبب المهم لذكرها هنا. هذه الآثار للأعين دليل على التطور. سلمندر الكهوف باعتبار أنه يعيش في ظلام مستمر لا حاجة لديه لاستخدام الأعين، لماذا إذن، إن كان هناك تصميم مسبق، يزوِّد السلمندر بشبه عين كالدمية، لها صلة واضحة بالعين ولكنها لا تؤدى وظيفة؟

التطوريون من جانبهم يلزم أن يتوصلوا لتفسير لفقد الأعين حيث لا تكون هناك بعد حاجـــة لها. قد يقال مثلا لماذا لا يحدث أن تتمسك بعينيك حتى إذا كنت لا تستعملها أبدا؟ ألا يمكن أن تغدو ملائمة للاستخدام عند بعض نقطة من المستقبل؟ لماذا "تزعج" نفسك بالتخلص منها. فيما يعرض، دعنا نلاحظ كيف يصعب علينا أن نقاوم هنا استعمال لغة القصد، والهدف، والتشخيصية. إذا التزمنا بالدقة في كلامنا لكان ينبغى ألا أستخدم كلمة "تزعج" نفسك، أوَينبغى علىّ ذلك؟ كان ينبغى أن أقول شيئا مثل، "كيف يفيد فقدان الأعين فردا من سلمندر الكهوف بحيث يكون من الأرجح له أن يظل باقيا في الوجود ويتكاثر بدرجة أكبر مما يرجح لسلمندر منافس يحافظ على عينين اثنتين سليمتين، حتى وإن كان لا يستخدمهما أبدا؟

---

(١) نعم، "Troglobite، ساكن أظلم جزء" وليس "troglodyte، ساكن الكهوف" التى تعنى شيئا أقل تطرفا.

حسن، يكاد يكون من المؤكد أن الأعين ليست بغير تكلفة. إذا نحينا جانبا ما يقبل الجدل بشأت التكلفة الاقتصادية المتواضعة لصنع العين، فإن محجر العين الرطب، الذى يلزم أن يكون مفتوحا على العالم ليتلاءم مع مقلة العين الدوارة بسطحها الشفاف، قد يكون عرضة للإصابة بالعدوى. وبالتالى، فإن سلمندر الكهف الذى أحكم سد عينه خلف جلد متين من الجسم ربما يظل باقيا في الوجود بأحسن من فرد منافس أبقى على عينيه.

على أن هناك طريقة أخرى للإجابة عن هذا السؤال، إجابة منورة بالمعلــومات، لا تتطلــب مطلقا أى لغـــة تتحدث عن المزايا، ناهيك عن الهدف أو التشخيص. عندما نتحدث عن الانتخاب الطبيعى، فنحن نفكر بلغة من طفرات مفيدة نادرة تظهر ويحابيها الانتخاب إيجابيا. إلا أن معظم الطفرات ليست مواتية لصالح الكائنات، وليس السبب الوحيد لذلك أنها عشوائية، فهناك طرائق لأن يكون الحال أسوأ هي أكثر من طرائق أن يكون الحال أفضل(١). الانتخاب الطبيعى سرعان ما ينزل عقابه بالطفرات السيئة. الأفراد الذين يحوزون طفرات سيئة يزيد رجحان موتهم ويقل رجحان تكاثرهم، ويؤدى هذا أوتوماتيكيا إلى إزالة هذه الطفرات من المستودع الجينى. يتعرض جينوم أى حيوان ونبات إلى القذف المتصل بطفرات ضارة: نوع من التآكل بزوبعة من البرد. يشبه ذلك نوعا ما يحدث

---

(١) يصدق هذا بوجه خاص على الطفرات التى لها تأثير كبير. دعنا نفكر في ماكينة رهيفة مثل الراديو أو الكمبيوتر. الطفرة الكبيرة تشبه أن ترفس أيا منهما بحذاء ثبت فيه مسامير بارزة، أو قطع أحد الأسلاك عشوائيا، وإعادة وصله في موضع مختلف. "ربما" قد يحدث أن يحسن هذا من أداء الجهاز، ولكن هذا غير مرجح إلى حد كبير. من الناحية الأخرى ترادف الطفرة "الصغيرة" صنع تكيف بالغ الصغر يكون مثلا في إحدى المقاومات، أو في مفتاح المحطات في الراديو. كلما كانت الطفرة أصغر، زادت فرصة أن يكوم احتمال التحسن أقرب لنسبة الخمسين في المائة.

لسطح القمر، الذى يزداد نقره بالحفر بسبب قذفه المطرد بالنيازك. فيما عدا استثناءات نادرة، فإنه في كل مرة يحدث لأحد الجينات المختصة بالعين مثلا أن يُصاب بطفرة غازية، تصبح العين عندها أقل قليلا في أداء وظيفتها، وأقل قليلا في قدرتها على الرؤية، وأقل قليلا من جدارتها لاسم العين. الحيوان الذى يعيش في الضوء ويستخدم حاسة البصر عندما تحدث له طفرات ضارة هكذا (وهى الأغلبية) فإنه يتم التخلص منها سريعا من المستودع الجينى بواسطة الانتخاب الطبيعى.

أما في حالات الاظلام التام، فسنجد أن الطفرات الضارة التى تُقذف بها جينات صنع العين لا ينزل بها عقاب. الرؤية على أى حال تكون مستحيلة. عين سلمندر الكهف هي مثل القمر، منقورة بالحفر الطفرية التى لا يتم أبدا التخلص منها. عين السلمندر الذى يقطن في مأوى بضوء النهار تشبه كوكب الأرض، فهى تصاب بالطفرات بالمعدل نفسه مثل ساكنى الكهف، ولكنها تتخلص من كل طفرة ضارة (أو حفرة) بواسطة الانتخاب الطبيعى (التآكل). لا شك في أن قصة عين ساكن الكهف ليست فقط قصة سلبية: فالانتخاب الطبيعى يدخل فيها أيضا، ليحبذ تنامى الجلد الواقى فوق المحاجر الحساسة للأعين التى يزداد تلفها من الوجهة البصرية.

من بين الآثار التاريخية الباقية الأكثر إثارة للاهتمام، تلك الملامح لأشياء تُستخدم لبعض هدف (وبالتالى فإنها ليست بواقى أثرية بمعنى أنها ظلت معمرة بعد زوال غرضها)، ولكنها تبدو وقد صممت تصميما سيئا لهذا الهدف. عين الفقاريات في أفضل حالاتها – كما مثلا في عين الصقر أو عين الانسان – تشكل جهازا ممتازا في دقته، له القدرة على أداء إنجازات فذة فيها رهافة في دقة تحديد الصور بما ينافس أفضل ما تصنعه شركات العدسات مثل زايس ونيكون. لو لم تكن هذه الأعين هكذا لكانت شركات زايس ونيكون تضيع وقتها عندما تنتج صورا فائقة

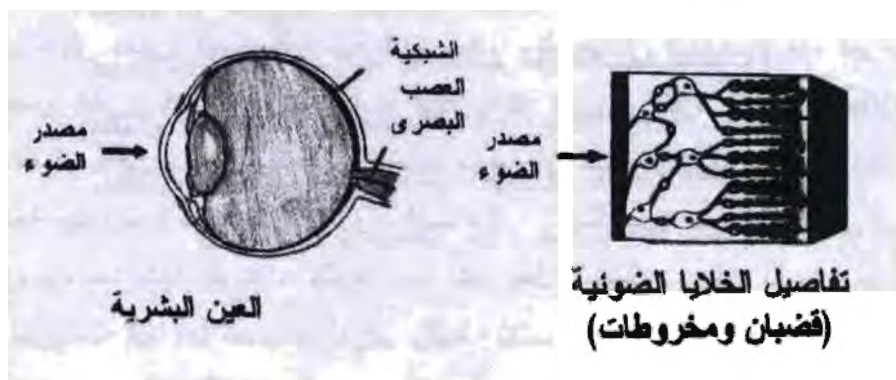
التحدد لتنظر إليها أعيننا. ومن الناحية الأخرى هناك هرمان فون هيلمهولتز العالم الألمانى الشهير في القرن التاسع عشر (الذى يمكن أن تقول عنه أنه عالم فيزياء، إلا أن إسهاماته في البيولوجيا وعلم النفس كانت أعظم)، وهو يقول عن العين: "لو أن نظاراتى أراد أن يبيع لى جهازا فيه كل هذه العيوب، فإننى فيما ينبغى أرى أن هناك ما يبرر لى تماما أن أوجه له اللوم لما حدث منه من إهمال بأقوى معنى للكلمة، وأعيد له جهازه هذا". على أن أحد الأسباب التى تبدو العين بها في حال أفضل مما حكم به هيلمهولتز الفيزيائى هو أن المخ ينجز مهمة مذهلة يزيد بها من توضيح الصور فيما بعد، بما يشبه أن يكون نوعا من جهاز معالجة لاحقة أتوماتيكية "Photostop، فوتوستوب" فائق في الرقى. بمدى ما يختص بالبصريات، تنجز العين البشرية صفة الدقة كأجهزة زايس/ نيكون إنجازا يكون فقط عند "نقرة الشبكية، Fovea" أو الجزء المركزى من الشبكية الذى نستخدمه للقراءة. عندما نمسح مشهدا، فإننا نحرك نقرة الشبكية عبر أجزائه المختلفة، ونرى كل منها بأقصى تفصيل ودقة، ويخدعنا "الفتوستوب" في المخ بأن يجعلنا نعتقد أننا نرى المشهد كله بالدقة نفسها. أرقى أنواع عدسات زايس أو نيكون تُظهر لنا "بالفعل" المشهد كله بوضوح يكاد يكون بدرجة متساوية.

هكذا فإن ما ينقص العين من حيث البصريات يعوضه المخ ببرمجاته المعقدة الراقية لمحاكاة الصور. ولكنى لم أذكر بعد أكثر الأمثلة إبهارا لعدم الكمال في بصريات عيننا، وهى أن وضع الشبكية مقلوب من الأمام للخلف.

دعنا نتخيل وجود هيلمهولتز في زمن لاحق يمثله فيه مهندس معه كاميرا رقمية، ولها شاشة من خلايا ضوئية بالغة الصغر، نظمت بحيث تلتقط الصور لعرضها مباشرة على سطح الشاشة. يبدو هذا معقولا تماما، ومن الواضح أن كل خلية ضوئية لها سلك يربطها بجهاز حوسبى من بعض نوع يتم فيه توازن الصور

والتأكد من صحة ترتيبها. هذا مرة أخرى معقول تماما. لن يحدث أن يعيد هيلمهولتز الجهاز للنظاراتى.

ولكن لنفترض الآن أنى سأقول لك أن خلايا العين الضوئية تتجه للخلف، بعيدا عن المشهد الذى يتم النظر إليه. "الأسلاك" التى تربط الخلايا الضوئية بالمـــخ تجـــرى فوق كل سطح الشبكية، وبالتالى فإن أشعة الضوء يكون عليها أن تمر خلال سجادة من أسلاك متكتلة قبل أن تصل إلى الخلايا الضوئية. ليس هذا بالمعقول.



بل أن الأمر يزداد سوءا. إحدى النتائج التى تترتب على اتجاه الخلايا الضوئية إلى الخلف هي أن الأسلاك التى تحمل بياناتها عليها بطريقة ما أن تمر خلال الشبكية لتعود إلى المخ. ما تفعله هذه الأسلاك في عين الفقاريات هي أنها تتجمع كلها لتتلاقى عند ثقب معين في الشبكية لتغوص من خلاله. يسمى هذا الثقب الملىء بالأعصاب بالنقطة العمياء؛ وذلك لأنها عمياء حقا، إلا أن وصف الثقب "بالنقطة" فيه مبالغة أكثر مما ينبغى؛ وذلك لأنه كبير تماما مما يجعله أشبه "بالرقعة" العمياء، على أن هذا مرة أخرى ليس بالذى يضايقنا كثيرا بالفعل بسبب ما يوجد في المخ من مبرمجة "الفوتوستوب الأوتوماتيكية ". مرة أخرى يُرسَل ذلك وراء، ليس هذا بتصميم سيئ فحسب، وإنما هذا تصميم غبى بالكامل.

أليس كذلك؟ إذا كانت الأمور هكذا، فإن الإبصار بالعين سيكون سيئا لدرجة رهيبة، ولكن العين ليست سيئة لهذه الدرجة، بل أنها بالفعل ممتازة جدا. فهى ممتازة لأن الانتخاب الطبيعى الذى يعمل كأداة جرف لما لا يحصى من التفاصيل الصغيرة، يأتى هنا بعد وقوع الخطأ الأصلى الكبير في تصميم الشبكية وهى متجهة للوراء ويستعيد الانتخاب الطبيعى وضع العين كجهاز دقيق بدرجة جودة عالية. يذكرنى هذا بملحمة هابل تليسكوب الفضاء. لعل القارئ يتذكر أنه عند إطلاق هذا التليسكوب في ١٩٩٠، اكتُشف أن فيه خلل كبير. ترتب على وجود خطأ لم يكتشف في جهاز معايرة المرآة الرئيسية أثناء صقلها وتلميعها أن قلت قدرة هذه المرآة بعض الشيء في أداء البصريات، ولكن ذلك كان له آثاره الخطيرة. أطلق التليسكوب في مداره، وبعدها تم اكتشاف ما فيه من عيب. وفى إجراء جسور فيه سعة حيلة، تم إرسال بعثة من رواد الفضاء إلى التليسكوب، ونجح أفرادها في أن يزودوه بما يشبه عوينات نظارة. بعد ذلك عمل التليسكوب على أحسن وجه، وأجريت له فيما بعد تحسينات أخرى بواسطة ثلاث بعثات صيانة تالية. النقطة التى أريد توضيحها هو أنه عندما يحدث خلل كبير في التصميم – يسبب ارتباكا كارثيا – فإنه يمكن تصحيحه بأعمال سمكرة تالية، فيها من البراعة والحلول الصعبة المتشابكة ما يمكّن في الظروف المناسبة من التعويض تماما عن الخطأ الأصلى. يحدث عموما في التطور، أن الطفرات الكبرى، حتى لو كانت تؤدى إلى تحسينات تكون عموما في الاتجاه الصحيح، فإنها تكاد دائما تتطلب فيما يلى إجراء عمليات سمكرة كثيرة – عملية تجريف بواسطة الكثير من الطفرات الصغيرة التى تأتى لاحقا ويحبذها الانتخاب لأنها تصقل ناعما الأطراف الخشنة التى تتخلف عن الطفرة الكبيرة الأصلية. هذا هو السبب في أن البشر والصقور لهم قدرة إبصار ممتازة، رغم الخلل المربك في التصميم الأصلى. مرة أخرى يقول هيلمهولتز:

"بالنسبة للعين فإن فيها كل عيب محتمل يمكن العثور عليه في جهاز بصرى، بل حتى أيضا بعض العيوب الخاصة بها؛ إلا أنه بالنسبة لهذه العيوب كلها يجرى تنفيذ إجراءات مضادة لها، بحيث أنه في ظروف الإضاءة الطبيعية، نجد أن عدم انضباط الصورة الناجم عن وجود هذه العيوب، لن يتجاوز إلا بمقدار قليل جدًا الحدود التى تضعها أبعاد مخروطات الشبكية لرهافة الإحساس. على أنه إذا وجدت ملاحظاتنا تحت ظروف مختلفة نوعا، فإننا سرعان ما نصبح واعين للزيغ اللونى، وانحراف البؤرة الاستجمى، والنقط العمياء، والظلال الوريدية، ونقص اكتمال شفافية الأوساط، وكل تلك العيوب الأخرى التى تكلمت عنها ".

تصميم غير ذكى

هناك هكذا نمط من أخطاء كبيرة في التصميم يتم التعويض عنها بما يتلو ذلك من أعمال سمكرة، وهذا بالضبط ما ينبغى "ألا" نتوقعه لو كان هناك حقا تصميمات مسبقة. ربما نتوقع أخطاء بسبب حظ سيئ، كما في الزيغ الكروى لمرآة هابل، ولكننا لا نتوقع غباء واضحا في تصميم مسبق كما في وضع الشبكية مقلوبة من الأمام للخلف. وجود تخبط من هذا النوع لا ينتج عن التصميم السيئ وإنما ينتج عن "التاريخ".

من الأمثلة المفضلة عندى ما أوصحه لى الأستاذ ج. ج. كرّى وهو يدرس لى وأنا طالب جامعى، وذلك هو مثل العصب الحنجرى الراجع[١]. هذا العصب فرع من أحد الأعصاب الجمجمية، وهى أعصاب تخرج مباشرة من المخ بدلا من أن تخرج من الحبل الشوكى. العصب "الحائر، vagus" هو أحد الأعصاب الجمجمية (واسمه يعنى أنه يتجول هائما وهو اسم يلائمه تماما) ولهذا العصب فروع شتى، يذهب اثنان منها للقلب، ويذهب فرعان آخران على كل جانب إلى الحنجرة (وهى صندوق الصوت عند الثدييات). في كل جانب من جانبى الرقبة يذهب أحد فروع العصب الحنجرى مباشرة إلى الحنجرة، متبعا طريقا مستقيما مما قد يختاره التصميم الجيد. الفرع الآخر يذهب إلى الحنجرة بطريق فيه انعطاف والتفاف مذهل. فهو يغوص لأسفل مباشرة في الصدر، ثم يلتف لولبيا حول أحد الشرايين الرئيسية التى تخرج من القلب (يختلف الشريان في الجانب الأيسر عن الشريان في الجانب الأيمن، ولكن المبدأ متماثل في الجانبين)، ثم يتجه العصب بعد هذا الالتفاف ليعود مرتفعا في الرقبة ليصل إلى وجهته.

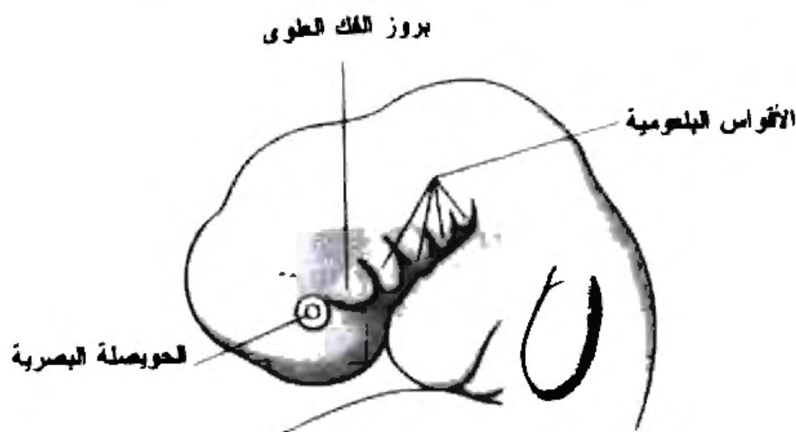
لو نظرنا للعصب الحنجرى الراجع على أنه ناتج عن تصميم مسبق لكان في ذلك ما يثير الخزى، سيكون لدى هيلمهولتز عندها سبب ليعيد الجهاز لصاحبه هو حتى سبب أقوى من سبب إعادة العين. على أنه يحدث هنا مثل ما حدث مع العين، أن الحال سيبدو معقولا تماما بمجرد أن ننسى أمر التصميم ونفكر بدلا منه في التاريخ. لفهم الحالة نحتاج إلى أن نعود وراء إلى العهد الذى كان أسلافنا فيه من الأسماك. السمك لديه قلب بحجرتين بخلاف قلبنا بحجراته الأربع. قلب السمك

(١) هذا المثل مفضل أيضا عند زميلى جيرى كوين. في كتاب لكوين اسمه "السبب في أن التطور حقيقى" يجرى كوين مناقشة لهذا المثل فيها وضوح رائع، وهو ما أوصى بقراءته مع باقى هذا الكتاب الممتاز.

يضخ الدماء أماما من خلال شريان مركزى كبير اسمه الأورطى البطنى. يخرج عادة من الأورطى البطنى ستة أزواج من الأفرع تؤدى إلى الخياشيم الستة الموجودة في كل جانب. ثم يمر الدم بعدها خلال الخياشيم حيث يمتزج معه الأوكسجين بثراء. يتجمع الدم أعلى الخياشيم في ستة أزواج أخرى من اللأوعية الدموية تصب في وعاء دموى كبير آخر يجرى بطول الوسط ويسمى الأورطى الظهرى وهو يغذى باقى الجسم. الأزواج الستة لشرايين الخياشيم فيها دليل على الخريطة "الحَلَقية "لجسم الفقاريات، والتى نراها في الأسماك على نحو أجلى وأوضح مما نراه فينا. من الرائع أن هذه الحلقات واضحة جدا في "الأجنة" البشرية، حيث نجد أن الأقواس "البلعومية" مستقاة بوضوح من خياشيم أسلافنا. الأمر الذى يمكن أن ندركه عندما ننظر إلى تشريحها التفصيلى. وهى بالطبع لا تعمل كخياشيم، إلا أن الأجنة البشرية وهى في عمر من خمسة أسابيع يمكن اعتبارها كاسماك صغيرة وردية لها خياشيم. مرة أخرى لا أملك إلا أن أتساءل متعجبا عن السبب في أن الحيتان والدرافيل، وحيوانات الأطوم وبقر البحر لم يحدث لها أن تعيد تطوير خياشيم تؤدى وظيفتها. هناك حقيقة أنها مثل كل الثدييات لديها من الأقواس البلعومية الدعامات الجنينية لتنمية الخياشيم، وهى حقيقة تطرح لنا أنه ينبغى ألا يكون من الصعب جدا تنمية الخياشيم في هذه الحيوانات. لا أدرى سببا لأنها لا تفعل ذلك، ولكنى متأكد إلى حد كبير من أن هناك سببا قويا لذلك، وأن هناك شخصا ما إما أنه يعرف السبب أو يعرف طريقة لإجراء بحث في ذلك.

كل الفقاريات لها خريطة جسم ينقسم لحلقات، على أننا نجد في الثدييات البالغة، عند مقارنتها إزاء أجنتها، أن هذا التقسيم الحلقى لا يتضح إلا في المنطقة الشوكية حيث الفقرات والأضلاع، والأوعية الدموية، والكتل العضلية (الميوتومات)، والأعصاب، كلها تتبع نمطا من تكرار للوحدات من الأمام للخلف. كل حلقة من العمود الفقرى لديها عصبان كبيران ينبثقان من الحبل الشوكى على

الجانبين يسميان بالجذر الظهرى والجذر البطنى. غالبا ما تؤدى هذه الأعصاب مهمتها، أيا ما تكون هذه المهمة، بالقرب من الفقرة التى نشأت عندها، إلا أن بعضها ينطلق لأسفل في الساقين والبعض ينطلق لأسفل الذراعين.



الأقواس البلعومية في جنين بشرى

يتبع الرأس والعنق أيضا الخريطة الحلقية نفسها، ولكنها أصعب في تبينها، حتى في السمك؛ لأن الحلقات بدلا من أن تنتظم في ترتيب منظم في مصفوفة من الأمام للخلف بمثل ما توجد به في العمود الفقرى، نجد أنها تختلط بغير نظام عبر الزمان التطورى. أحد انتصارات علوم التشريح المقارن والإمبريولوجيا المقارنة في القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين أن تمكن العلماء من تمييز الآثار الشبحية للحقات في الرأس. مثـــال ذلك أن أول قـــوس للخياشيم في الأسماك التى لا فك لها مثل السمك الجلكى "lamprey" (وكذلك في أجنة الفقاريات التى لها فك) يناظر هذا القوس الفك في الفقاريات ذات الفك (أى كل الفقاريات الحديثة فيما عدا السمك الجلكى وسمك الجريث "hagfish").

الحشرات أيضا هي والمفصليات مثل القشريات، لديها خريطة جسم بحلقات، كما رأينا في الفصل العاشر. ومرة أخرى كان هناك انتصار مماثل آخر يبين لنا أن رأس الحشرة تحوى أول ست حلقات – هي مرة أخرى مختلطة بلا نظام – وهى حلقات كانت في أسلافها البعيدة منظمة في سلسلة من الوحدات بما يماثل تماما ما هو موجود في سائر الجسم. هناك انتصار آخر لعلوم الإمبريولوجيا والوراثة في أواخر القرن العشرين عندما تبين أن التكوين الحلقى في الحشرات والتكوين الحلقى في الفقاريات أبعد من أن يكونا مستقلين أحدهما عن الآخر كما كان يدرّس لى، فهما يتمان بالفعل بواسطة مجموعتين متشابهتين من الجينات تسمى جينات "هوكس، hox)، وهى جينات تتشابه بوضوح يمكن إدراكه في الحشرات والفقاريات وحيوانات أخرى كثيرة، بل أن هذه الجينات تكون حتى منتظمة في الترتيب المتسلسل الصحيح في الكروموسومات! هذا شيء ما كان أى ممن درّسوا لى يحلم به وقت أن كنت أدرس كطالب في الجامعة دراسات منفصلة تماما عن التنظيم الحلقى في الحشرات والفقاريات. الحيوانات في شعبها المختلفة (كما مثلا في الحشرات والفقاريات) فيها توحد على نحو أكثر كثيرا مما تعودنا أن تعتقده. وهذا أيضا سببه التشارك في السلف. خريطة جينات الهوكس قد خُططت من قبل في السلف الأعلى لكل الحيوانات ذات السمترية في الجانبين. الحيوانات كلها على علاقة قرابة كأبناء عمومة هي علاقة أوثق كثيرا مما اعتدنا أن نعتقده.

هيا نعود الآن لرأس الفقاريات: من المعتقد أن الأعصاب الجمجمية هي سلالة منحدرة من الأعصاب الحلقية وقد تنكرت تنكرا شديدا، وهذه الأعصاب الحلقية كانت في أسلافنا البدائية تشكل الطرف الأمامى من سلسلة من الجذور الظهرية والجذور الباطنية، تماثل تماما تلك التى لا تزال تنبثق لدينا من عمودنا الفقرى. كما أن الأوعية الدموية الرئيسية في صدرنا هي آثار وبقايا مشوشة لما كان ذات يوم بوضوح أوعية دموية حلقية تخدم الخياشيم. يمكننا القول بأن الصدر

الثديى قد أفسد ترتيب النمط الحلقى لخياشيم السلف من السمك، بالطريقة نفسها التى حدثت قبل ذلك عندما أفسدت رؤوس السمك النمط الحلقى للأسلاف الأقدم.

الأجنة البشرية لها أيضًا أوعية دموية لإمداد "خياشيمها" التى تشبه كثيرا خياشيم السمك. هناك شريانان من الأورطى البطنى، واحد على كل جانب، مع أقواس أورطية حلقية، واحد في كل جانب لكل "خيشوم"، وهى مرتبطة بشريانى الأورطى الظهرى المزدوجين. تختفى معظم هذه الأوعية الدموية الحلقية في نهاية التنامى الجنينى، إلا أن من الواضح كيف أن النمط في القرد البالغ مستمد من الخريطة الجنينية – وكذلك أيضا من خريطة الأسلاف. إذا نظرنا إلى جنين بشرى بعد ما يقرب من ستة وعشرين يوما من الحمل، سنرى أن إمداد الدم إلى "الخياشيم" يشبه بقوة إمداد الأوعية الحلقية إلى خياشيم السمك. مع مرور الأسابيع التالية من الحمل تزداد بساطة نمط الأوعية الدموية على مراحل، وتفقد سمتريتها الأصلية، وبحلول وقت ولادة الوليد تكون دورته الدموية منحازة بقوة لجهة اليسار – بما يختلف تماما عن السمترية المنظمة للجنين المبكر المشابه للسمك.

لن أدخل في التفاصيل المختلفة المربكة التى تبحث أمر أى من شرايين الصدر الكبيرة هي التى ظلت باقية من أى من شرايين الخياشيم الستة في عددها. كل ما يلزم لنا معرفته، حتى نفهم تاريخ أعصابنا الحنجرية الراجعة، هو أن العصب الحائر في السمك له أفرع تصل إلى آخر ثلاثة من الخياشيم الستة، وبالتالى فإن من الطبيعى بالنسبة لها أن تمر من خلف الشرايين الخاصة بالخياشيم. ليس هناك أى شىء "راجع" بالنسبة لهذه الفروع: إنها تسعى إلى أعضاء انتهائها، أى الخياشيم، وهى تسعى إليها بالطريق الأكثر مباشرة ومنطقية.

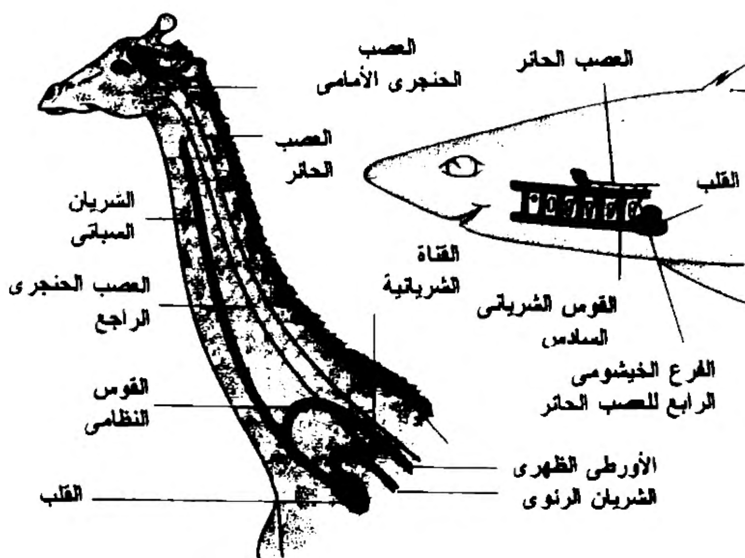
إلا أنه أثناء تطور الثدييات، تستطيل الرقبة (الأسماك لا رقبة لها) وتختفى الخياشيم، ويتحول بعضها إلى أشياء مفيدة مثل الغدة الدرقية والغدة جار الدرقية،

وشتى القطع والشدف التى تتجمع لتشكل الحنجرة. هذه الأشياء الأخرى المفيدة، بما فيها أجزاء الحنجرة، تتلقى إمدادها من الدم وارتباطاتها العصبية من السلالة التطورية للأوعية الدموية والأعصاب التى كانت ذات يوم تخدم الخياشيم بتتابعها المنتظم. مع استمرار تطور أسلاف الثدييات لأبعد وأبعد من أسلافها من السمك، وجدت الأوعية الدموية والأعصاب نفسها وهى تُشد وتمط في اتجاهات محيرة، تشوه من علاقاتها المكانية أحدها بالآخر. تصبح الأمور في صدر ورقبة الفقاريات وقد فسد ترتيبها مختلطا ولا تعود بعد مشابهة للتكرار المتسلسل المنظم في سمترية في خياشيم السمك. وتغدو الأعصاب الحنجرية الراجعة ضحايا لهذا التشوه بدرجة فيها مبالغة قصوى.

الصورة التالية أخذت عن كتاب دراسى ألفه بيرى وهالام في ١٩٨٦، وتوضح كيف أن العصب الحنجرى ليس فيه التفاف ورجوع في سمك القرش. لتوضيح الالتفاف في أحد الثدييات اختار بيرى وهالام الزرافة – وأى مثل يمكن أن يكون مذهلا أكثر مما فيها؟

سنجد عند أحد الأفراد أن طريق العصب الحنجرى الراجع يمثل رجعة ملتفة ربما تصل إلى عدة بوصات. أما في الزرافة، فإنها بدون أى مزاح، رجعة ملتفة تتجاوز الكثير من الأقدام – وتتخذ التفافا ربما يصل إلى ١٥ قدما في الحيوان البالغ الكبير! في اليوم التالى "ليوم داروين" ٢٠٠٩ (الذكرى المائتين لمولده) شرفت بأن أقضى اليوم كله مع فريق من علماء التشريح المقارن، وعلماء الباثولوجيا البيطرية في الكلية البيطرية الملكية قرب لندن، حيث أجروا تشريحا لزرافة صغيرة السن ماتت لسوء الحظ في حديقة الحيوان. كان هذا يوما لا ينسى، يكاد يكون خبرة سريالية بالنسبة لى. غرفة أو مسرح العمليات" operatig theatre " كانت مسرحا بالمعنى الحرفى للكلمة، وهناك لوح زجاجى هائل يفصل "المسرح" عن مقاعد

مصفوفة يجلس فيها طلبة الطب البيطرى وهم يراقبون ما يجرى لساعات في كل مرة. ظلـــوا طـــول اليوم – وهو لا بد يوم شاذ عن السياق الطبيعى لخبرتهم كطلبة – وهم جالسين في المسرح المظلم ويحدقون من خلال الزجاج إلى المشهد المضاء ساطعا، ويستمعون إلى الكلمات التى ينطق بها افراد فريق التشريح، وكلهم مجهزون بميكروفونات للحلق، بمثل ما جهز لى أنا وفريق الإنتاج التليفزيونى وهم يصورون فيلما وثائقيا ليعرض فيما بعد على القناة الرابعة. وضعت الزرافة فوق مائدة التشريح الكبيرة المنحنية في زاوية، وقد رفعت إحدى سيقان الزرافة عاليا في الهواء معلقة بخطاف وبكرة، وكُشفت بارزة رقبتها الهائلة الهشة إلى حد بالغ وهى تحت الأضواء اللامعة. كان جميع الموجودين في جانب الزرافة من الجدار الزجاجى قد خضعوا لأوامر صارمة بارتداء أوفرولات برتقالية، وأحذية عالية بيضاء، وعزز هذا بطريقة ما نوعية ذلك اليوم الشبيه بالأحلام.



العصب الحنجرى في الزرافة وسمك القرش

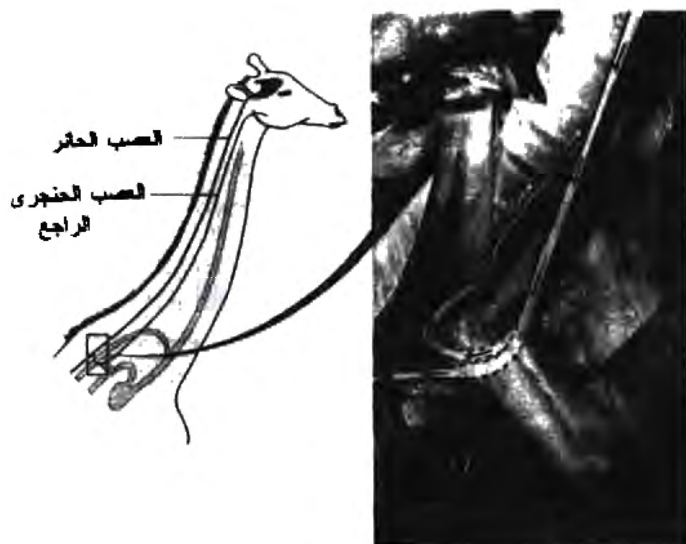
مما يدل على طول لفة الرجوع التى يتخذها العصب الحنجرى الراجع أن الأعضاء المختلفين في فريق علماء التشريح كانوا يعملون في آن واحد على الامتدادات المختلفة للعصب – الحنجرة قرب الرأس، ورجعة العصب نفسها قرب القلب، وكل ما بين ذلك من محطات – وذلك بدون أن يعترض أحدهم طريق الآخر، ونادرا ما كانوا يحتاجون لأن يتحدث أحدهم مع الآخر. أخذوا في صبر يخلّصون المسار الكامل للعصب الحنجرى الراجع: هذه مهمة صعبة، لم يحدث فيما أعرف أن تم إنجازها منذ زمن ريتشارد أوين عالم التشريح العظيم في العصر الفكتورى، وقد أنجزها في ١٨٣٧. المهمة صعبة لأن العصب رفيع جدا، بل إنه حتى كالخيط في الجزء الراجع منه (أفترض أنه كان ينبغى على أن أعرف ذلك، إلا أن الأمر مع ذلك كان فيه مفاجأة لى عندما رأيته بالفعل) ومن السهل أن تفوت المرء رؤيته في تلك الشبكة المعقدة من الأغشية والعضلات التى تحيط بالقصبة الهوائية. العصب أثناء رحلته لأسفل يمر على بعد بوصات من مقصده النهائى، أى من الحنجرة (وهو عند هذه النقطة يكون محزوما مع العصب الحائز الأكبر منه). إلا أنه يواصل طريقه منحدرا لأسفل بكل طول العنق، ثم يلتف عائدا ويقطع كل الطريق ثانية لأعلى. ثار إعجابى الشديد بمهارة الأستاذة جراهام ميتشيل وجوى ريدنبرج والخبراء الآخرين الذين يجرون التشريح، ووجدت أن احترامى لريتشارد أوين قد تزايد (وهو عدو لدود لداروين). إلا أن أوين المؤمن بالمذهب التكوينى قد فشل في استنباط الاستنتاج الواضح من تشريح العصب. أى تصميم مسبق ذكى كان عليه أن يبتعد بالعصب الحنجرى عن طريقه الطويل لأسفل، وأن يصمم بدلا من هذه الرحلة الطويلة لأمتار كثيرة، رحلة قصيرة من سنتيمترات قليلة.

بصرف النظر عما يحدث من تبديد الموارد الذى يتطلبه صنع عصب طويل هكذا، فإنى لا أملك إلا أن أتساءل عما إذا كان إصدار الأصوات من الزرافة يتعرض هكذا للتأخير، مثلما يحدث لمراسل صحفى يتحدث عبر وصلة لقمر

صناعى. قال لى أحد المراجع الثقة: "على الرغم من أن الزرافة لديها حنجرة تنامت جيدا، كما أن الزرافة ذات طبيعة اجتماعية، إلا أنها لا تستطيع أن تطلق أصواتا إلا من نوع ثغاء أو أنات خافتة ". إنها لفكرة محببة أن الزرافة تتمتم، ولكنى لن أتابعها هنا. النقطة المهمة هي أن كل هذه القصة عن التفاف العصب فيها مثل رائع عن كيف أن الكائنات الحية بعيدة تماما عن أن يكون لها تصميم جيد. بالنسبة لمن يؤمن بالتطور، يكون السؤال المهم هو لماذا لا يفعل الانتخاب الطبيعى مثل ما كان سيفعله مهندس التصميم: أن يعود ثانية إلى لوحة الرسم الهندسية ويعيد تصميم الأمور على نحو معقول. إنه السؤال نفسه الذى نلاقيه المرة بعد الأخرى في هذا الفصل، وقد حاولت الإجابة عنه بطرائق مختلفة. العصب الحنجرى الراجع يساعد بنفسه على إعطاء إجابة بلغة مما يسميه الاقتصاديون "التكلفة الحدية"(*) أثناء استطالة عنق الزرافة ببطء عبر الزمان التطورى، تتزايد تدريجيا تكلفة الالتفاف – سواء التكلفة الاقتصادية أو التكلفة بلغة من "التمتمة"، وهى تتزايد تدريجيا، مع التأكيد على كلمة "تدريجيا" هذه. التكلفة "الحدية" لكل ملليمتر من تزايد الطول تكون "طفيفة". عندما بدأ عنق الزرافة يقارب طوله الحالى المثير، سنجد أن التكلفة "الكلية" للالتفاف ربما تكون قد بدأت تقارب جدا نقطة – افتراضية – حيث الفرد الطافر سيبقى موجودا بأفضل لو كانت ألياف العصب الحنجرى الهابطة ستنفصل مبتعدة عن حزمة العصب الحائر لتقفز عبر الثغرة الضئيلة إلى الحنجرة. ولكن الطفر اللازم لإنجاز "قفزة عبور الثغرة " هذه ستكون مما يشكل تغيرا رئيسيا – بل هـــو حتى جيشان – في تنامى الجنين. من المحتمل جدا أن الطفر اللازم ما كان سينشأ بأى حال. وحتى لو أنه نشأ لربما كان له مضاره – وهى المضار الحتمية في أى جيشان يحدث في سياق عملية حساسة

(*) زيادة التكلفة بسبب إنتاج وحدات زائدة من المخرج. (المترجم)

رهيفة. وحتى لو أن هذه المضار أصبح وزنها في النهاية أقل من ثقل مزايا تجاوز التفاف العصب، فإن التكلفة "الحدية". لكل ملليمتر من "تزايد" مسافة الالتفاف "بالمقارنة بالالتفاف الموجود بالفعل" تكون شيئا طفيفا. حتى لو كان الحل "بالعودة إلى لوحة التصميم" هو الفكرة الأفضل، إن كان يمكن إنجازه، فإن البديل المنافس هو مجرد زيادة ضئيلة فوق الالتفاف الموجود بالفعل، والتكلفة "الحدية" لهذه الزيادة الضئيلة ستكون صغيرة. وأقول مخمنا أنها ستكون أصغر من "الجيشان الكبير" اللازم للوصول إلى الحل الأكثر أناقة.



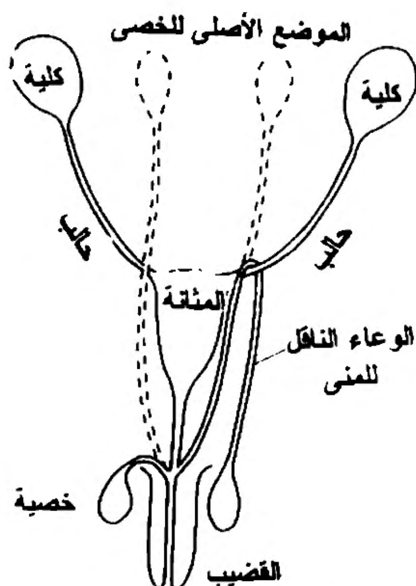
الالتفاف كما يصنعه
العصب الحنجرى في الزرافة

كل هذا بعيد عن النقطة الرئيسية، وهى أن العصب الحنجرى الراجع في أى حيوان ثديي فيه دليل قوى ضد التصميم المسبق. وهو في الزرافة يمتط ليصبح الدليل القوى دليلا مذهلا ! الرحلة الطويلة الغريبة بالالتفاف لأسفل عنق الزرافة ثم

العودة لأعلى ثانية هي بالضبط نوع الأمور التى نتوقعها من الانتخاب الطبيعى، وهى بالضبط نوع الأمور التى "لا" نتوقعها من أى نوع من التصميم المسبق الذكى.

جورج، س. ويليامز واحد من أكثر المبجلين من علماء البيولوجيا التطورية الأمريكيين (وله ملامح حكيم هادئ في صلابة تذكر بالواحد من أكثر المبجلين من الرؤساء الأمريكيين – يتفق أنه ولد في اليوم نفسه مع تشارلز داروين الذى اشتهر أيضا بحكمته الهادئة). لفت ويليامز الانتباه لرحلة التفاف أخرى، تشبه الرجعة الملتفة للعصب الحنجرى الراجع، ولكنها عند الطرف الآخر من الجسم. قناة الأسهر أو قناة السائل المنوى الدفاقة هي الأنبوبة التى تحمل السائل المنوى من الخصى إلى القضيب. أكثر طريق مباشر لها هو الطريق المفترض خياليا الذى يظهر في الجانب الأيسر من الشكل التالى. الطريق الفعلى الذى يتخذه هذا الوعاء يبينه الجانب الأيمن من الشكل. وهو يتخذ التفافة راجعة مضحكة حول الحالب، أى حول الأنبوبة التى تحمل البول من الكلية إلى المثانة. لو كان هذا الطريق بتصميم مسبق لما أمكن لأحد أن ينكر جديا أن التصميم هكذا فيه خطأ سيئ، ولكن كما في حالة العصب الحنجرى الراجع، فإن الأمر يصبح كله واضحا إذا نظرنا في التاريخ التطورى. الموضع الأصلى المحتمل للخصى توضحه الخطوط المتقطعة. في تطور الثدييات حدث أن انحدرت الخصى لموضعها الحالى في الصفن (وذلك لأسباب ليست واضحة، وإن كان يعتقد غالبا أنها لها علاقة بدرجة الحرارة)، ولسوء الحظ فإن الوعاء الناقل للسائل المنوى انعقف وانحنى ملتويا على الحالب بالطريق الخطأ. بدلا من إعادة رسم مسار هذه القناة بطريقة تصميم هندسى معقول، فإن التطور استمر ببساطة في اطالتها – مرة أخرى فإن التكلفة الحدية لكل زيادة هينة في طول خط الالتفاف ستكون تكلفة صغيرة. على أن هذا مرة أخرى فيه مثل رائع لخطأ أصلى يتم تعويضه ببعض طريقة لاحقة لوقوع الخطأ، بدلا من

أن يتم تصحيحه كما ينبغى بالعودة إلى لوحة التصميم. الأمثلة من هذا النوع لا بد وأن تقوض بالتأكيد موقف أولئك المولعين بحجة "التصميم الذكى".



طريق الوعاء الناقل للمنى (الأسهر)
من الخصى إلى القضيب

يزخر الجسم البشرى بما يمكن أن نسميه بمعنى ما بأنه من العيوب، ولكنها بمعنى آخر ينبغى أن ينظر إليها على أنها حلول توفيقية لا مفر منها تنتج عن تاريخنا السلفى الطويل لانحدار سلالتنا من صنوف أخرى من الحيوان. العيوب تكون لا مفر منها عندما لا تكون "العودة إلى لوحة التصميم" هي الخيار – عندما يمكن التوصل إلى تحسينات بمجرد إجراء تعديلات لاحقة لما هو موجود من قبل. دعنا نتخيل مدى اختلاط نظام المحرك النفاث لو أن سير فرنك هويتل و د.هانز

فون أوهين، اللذين اخترعاه كل منهما مستقلا عن الآخر، قد أُجبرا على الخضوع للقاعدة القائلة بأنه: "من غير المسموح لك أن تبدأ بصفحة خالية فوق لوحة التصميم. عليك أن تبدأ بمحرك دفع ثم تغير فيه، فتغير فيه قطعة واحدة في كل مرة، وتغير مسمارا لولبيا واحدا بعد الآخر، ومسمارا للبرشام واحدا بعد الآخر، وهكذا تغير المحرك من محرك "سلف" دافع، إلى محرك نفاث هو "السلالة المنحدرة". بل الأسوأ من ذلك أن كل التوسطيات لا بد لها من أن تطير، وكل واحد في سلسلة التوسطيات يجب أن يكون فيه على الأقل تحسين طفيف عن سابقه. في وسعك أن ترى هكذا أن المحرك النفاث الناتج عن ذلك سيكون مثقلا بعبء كل صنوف ما هو تاريخى من الآثار وأوجه الشذوذ والعيوب. وكل واحد من هذه العيوب يعالج أمره بإضافات مرهقة من أعمال تعويضية خرقاء ومزيد من التحولات والتجهيزات، كل واحد منها فيه محاولة لأن يفيد بأقصى حد مع وجود هذا الحظر التعس للعودة مباشرة للوحة التصميم.

هكذا تصبح النقطة المهمة واضحة، إلا أن إلقاء نظرة أدق على الإبداعات البيولوجية ربما يُستمد منها كذلك تمثيلا بالقياس من حالة المحرك بالدفع /المحرك النفاث. سنجد أن إبداعا مهما (المحرك النفاث في تمثيلنا بالقياس) هو مما يرجح تماما ألا يتطور من عضو قديم كان يقوم بالمهمة نفسها (محرك الدفع في هذه الحالة) وإنما يتطور من شيء مختلف تماما، كان يؤدى وظيفة مختلفة بالكامل. أحد الأمثلة الممتازة لذلك هي عندما اتخذت أسلافنا من الأسماك طريقها للتنفس بالهواء، فهى عندها لم تغير خياشيمها لتصنع رئة (كما تفعل بعض أنواع السمك التى تنفست بالهواء حديثا مثل سمك الفرخ المتسلق أو "الأناباس، *anabas"*). بدلا من ذلك فإن هذه الأسماك أدخلت تعديلا على جيب من الأمعاء. ثم اتفق أن حدث لاحقا، أن الأسماك العظمية – التى تعنى ما يكاد يكون كل الأسماك التى يرجح أن نلتقى بها فيما عدا أسماك القرش وأمثالها – هذه العظميات قد عدلت من الرئة

(التى تطورت فيما سبق في أسلاف كانوا من آن لآخر يتنفسون الهواء) لتصبح بعدها عضوا حيويا آخر لا علاقة له بالتنفس هو: المثانة الهوائية للسباحة.

لعل مثانة السباحة هي المفتاح الرئيسى لنجاح الأسماك العظمية، وهى تستحق تماما استطرادا يفسر أمرها. إنها مثانة داخلية مليئة بالغاز، يمكن تكييفها بطريقة حساسة للاحتفاظ بالسمكة في حالة توازن هيدروستاتيكى عند أى عمق مطلوب. لو أنك كنت تلعب في طفولتك لعبة الغواص الديكارتى لأدركت هذه القاعدة، إلا أن السمكة العظمية تستخدم نوعا مغايرا منها يثير الاهتمام. الغواص الديكارتى دمية صغيرة الجزء العامل فيها هو فنجان بالغ الصغر يتجه طرفه لأعلى، ويحوى فقاعة هواء، تطفو متوازنة في زجاجة ماء. عدد جزيئات الهواء في الفقاعة ثابت، ولكننا نستطيع أن نقلل الحجم (ونزيد الضغط حسب قانون بويل(١)) بأن نضغط لأسفل سدادة الفلين في الزجاجة. تستطيع أن تزيد حجم الهواء (وأن تقلل الضغط في الفقاعة) بأن ترفع السدادة. يمكن التوصل إلى إنجاز أحسن تأثير باستخدام إحدى السدادات اللولبية القوية التى توضع على زجاجات مشروب السيدر الغازى. عندما تخفض أو ترفع من السدادة، يتحرك الغواص لأسفل

---

(١) يقرر قانون بويل أنه بالنسبة لقدر ثابت من الغاز عند درجة حرارة معينة يتناسب الضغط عكسيا مع الحجم. لم أنس أبدا قانون بويل منذ دراستى في الصف الرابع من مدرستى حيث تلقينا درسا واحدا على يد المدرس الأول للعلم في المدرسة، وكان يدعى بونجى، أتى بونجى بديلا عن مدرسنا المعتاد للفيزياء، واسمه بوفى، وقد توهمنا خطأ أننا يمكننا تجاهل اتباع النظام وأن نضايق "بونجى" بسبب عمره البالغ الكبر (كما كنا نعتقد) وبسبب قصر نظره قصرا بالغا (وكان هذا واضحا من تعوده على قراءة الكتب وقد وضعها ملامسة لأنفه). على أننا كنا مخطئين تماما فيما توهمناه. فقد أبقانا جميعا بأسرنا محجوزين لحصة إضافية في ذلك الأصيل، بدأها بأن جعلنا نكتب في كراستنا أن "هدف هذه الحصة هو أن يتعلم الفصل الرابع الأخلاق الحسنة وقانون بويل".

أو لأعلى حتى يصل إلى نقطته الجديدة من التوازن الهيدروستاتيكى. تستطيع أن تلعب بالغواص لأعلى وأسفل الزجاجة بإجراء تعديلات حساسة في وضع السدادة، وبالتالى تعدل من الضغط.

السمكة غواص ديكارتى مع اختلاف رهيف. مثانة السباحة هي "فقاعتها" وهى تعمل بالطريقة نفسها، فيما عدا أن عدد جزيئات الغاز في المثانة لا يكون ثابتا. عندما تريد السمكة أن ترتفع إلى مستوى أكثر ارتفاعا في المياه، تطلق جزيئات الغاز من دمها إلى المثانة، وبالتالى تزيد من حجمها. وعندما تريد السمكة أن تغوص لأعمق، فإنها تمتص جزيئات الغاز من المثانة إلى الدم، وبالتالى تنقص من حجم المثانة. مثانة السباحة معناها أن السمكة لا يلزم عليها أن تقوم بجهد عضلى كالذى تقوم به سمكة القرش، حتى تبقى عند العمق المطلوب. الأمر ليس إلا توازن هيدروستاتيكى عند أى عمق تختاره. هكذا تؤدى مثانة السباحة هذه المهمة، وبالتالى فإنها تحرر العضلات لتؤدى عملية الدفع بنشاط. أسماك القرش على عكس ذلك، عليها أن تواصل السباحة طول الوقت، وإلا فإنها ستغوص للقاع، وإن كان مما لا يُنكر أن هذا يحدث ببطء لأنها لديها في أنسجتها مواد خاصة بكثافة منخفضة تجعل الأسماك قادرة على الطفو بدرجة معتدلة. مثانة السباحة إذن هي رئة معدلة، والأخيرة هي نفسها جيب أمعاء معدل (وليست كما ربما نتوقع حجيرة خيشوم معدلة). ثم نجد في بعض الأسماك أن مثانة السباحة نفسها ينالها المزيد من التعديل لتغدو عضوا للسمع، نوع من طبلة للأذن. التاريخ مسجل على الجسم كله، ليس لمرة واحدة، وإنما لمرات متكررة، على لوح كتابة غزيرة.

استمر وجودنا كحيوانات أرضية لما يقرب من ٤٠٠ مليون سنة، ومشينا فوق سيقاننا الخلفية لما يقرب فقط من آخر ١ في المائة من هذا الوقت. بقينا طيلة ٩٩ في المائة من زمننا فوق الأرض، ونحن لدينا عمود فقرى أفقى تقريبا ونمشى

على أربع. لا يُعرف على وجه التأكيد ما تكونه المميزات الانتخابية التى تضايفت في الأفراد الذين انتصبوا واقفين لأول مرة ومشوا على سيقانهم الخلفية، وسوف أترك هذا الأمر جانبا. ألف جوناثان كنجدون كتابا كاملا في هذه المسألة ("الأصول المتواضعة") وقد أبديت رأيى فيه بشيء من التفصيل في كتابى "حكاية السلف". ربما لم يبد ذلك كتغير رئيسى عندما حدث؛ لأن الرئيسيات الأخرى مثل الشمبانزى، وبعض القرود، والليمور الفاتن المسمى سيفاكا فيروكس، كلها كانت تفعل ذلك من آن لآخر. على أن تعود السير على ساقين فقط كما نفعل، له نتائج متشعبة تؤثر في الجسد كله إلى مدى بعيد، يترتب عليها الكثير من التكيفات التعويضية. يمكن فيما يناقش القول بأنه لم يحدث أن عظمة واحدة أو عضلة واحدة في أى مكان من الجسم قد تم استثناؤها من ضرورة تغييرها، حتى تتوافق مع بعض تفصيل، مهما كان ذلك غامضا، ومهما كان بعيدا عن المعتاد، ومهما كان متصـــلا بطريقة غير مباشرة أو غير واضحة بالتغير الرئيسى في طريقة المشى. لا بد وأن تكون هناك إعادة هزهزة تماثل التغير وتشمل كل الأعضاء، وذلك فيما يتعلق بكل وأى تغير رئيسى في طريقة الحياة، كالانتقال من الماء للأرض، ومن الأرض للماء، والى الهواء أو تحت الأرض. لا يمكننا أن نفصل التغيرات الواضحة في الجسم ونعالج أمرها وهى منعزلة. عندما نقول أن هناك نتائج متشعبة لكل تغيير فإن هذا القول مما تقتضيه الحقيقة. هناك مئات وآلاف من النتائج المتشعبة، ثم تشعبات للتشعبات. الانتخاب الطبيعى يكون دائما أبدا في جيشان، فيقوم بتعديل المظهر، أو يقوم "بالسمكرة" كما يذكر ذلك فرنسوا جاكوب العالم الفرنسى في البيولوجيا الجزيئية(*).

(*) في كتاب "عن الذباب والفئران والبشر"، ترجم للعربية سنة ٢٠٠٠ في المشروع القومى للترجمة، ترجمة مصطفى إبراهيم فهمى. (المترجم)

هاكم طريقة جيدة أخرى للنظر إلى الأمر. عندما يحدث تغير رئيسى في المناخ، كأن يحدث مثلا عصر جليدى، يكون من الطبيعى أن نتوقع أن يؤدى الانتخاب الطبيعى إلى تكيف الحيوانات لذلك – فتنمى مثلا غطاء شعر أكثر كثافة. على أن المناخ "الخارجى" ليس بالنوع الوحيد من "المناخ" الذى يجب علينا أن نضعه موضع الاعتبار. لو نشأت طفرة رئيسية جديدة بدون أى تغير خارجى مطلقا، وحبذها الانتخاب الطبيعى، فإن كل الجينات الأخرى في الجينوم سوف تَخبر ذلك كتغير في "المناخ الجينى" الداخلى. وهذا تغير يكون على الجينات أن تتكيف معه على نحو لا يقل عن تكيفها مع تغير الجو. هكذا سيكون على الانتخاب الطبيعى أن يأتى بعد ذلك، ليجرى تكيفا يعوض عن التغير الرئيسى في "المناخ" الجينى تماما مثل ما يحدث إذا كان هناك تغير قد حدث في المناخ الخارجى. التحول الأصلى من المشى فوق أربع إلى المشى فوق ساقين يمكن حتى أن يكون تولده قد تم "داخليا" بدلا من أن يتولد عن تحول في البيئة الخارجية. في أى من الحالين سيؤدى التحول إلى بدء سلسلة معقدة من نتائج تترتب عليه، وكل واحدة منها تستلزم تعديلات تعويضية من "تشذيب" وحسن ترتيب.

لعله كان من الأفضل أن يعنون هذا الفصل "بالتصميم غير الذكى". ولعل من الممكن حقا أن يكن هذا عنوانا جديرا بكتاب كامل عما يوجد من عيوب في الحياة باعتبار أن هذه العيوب دليل مفحم على غياب التصميم المتعمد، وهناك أكثر من مؤلف قد أدركوا ذلك وكل منهم مستقل عن الآخر. لى غرام باللغة الإنجليزية الأسترالية لما فيها من توقح ساخر عنيف، ولذلك فقد اخترت من هؤلاء المؤلفين مؤلفا يقول، "وإذن، من أين انبثق هذا التصميم المسبق الذكى، مثل ما ينبثق الدمل فوق العجيزة؟". وقعت على كتاب يثير الابتهاج ألفه روبن ويليامز عميد المذيعين العلميين في سيدنى. بعد أن يتشكى ويليامز مما يعانيه من ألم في ظهره في كل صباح بلغة لا تثير امتعاضا عندما تأتى في شكوى متذمرة من أحد مهاجرى

إنجلترا (أرجو ألا يساء فهمى، فأنا أتعاطف معه عميقا)، يواصل بعدها ويليامز القول، "يمكن لكل ظهر تقريبا أن يقيم دعوى مباشرة على من يعتقدون بوجود تصميم مسبق للظهر، وسيكون عليهم أن يسلموا بأن هذا التصميم، إن كان له وجود، ليس بالأمثل وكأنه ولا بد قد تم في عجلة واندفاع تحت التهديد بانتهاء المهلة المحددة للانتهاء منه". المشكلة بالطبع هي أن أسلافنا ظلوا يسيرون لمئات الملايين من السنين وقد أبقوا العمود الفقرى في وضع أفقى تقريبا، ولم يتكيف العمود جيدا مع التعديل المفاجئ لوضعه تعديلا فُرض في المليون سنة الأخيرة. مرة أخرى، فإن النقطة المهمة هي أن التصميم المسبق الأمثل لحيوان رئيسى يسير منتصبا لهو تصميم كان ينبغى له العودة منذ البداية إلى لوحة الرسم لإنجازه على الوجه الصحيح من أول الأمر، بدلا من البدء بمن يسير على أربع ثم السمكرة اللاحقة لهذا الوضع.

يتطرق ويليامز بعدها إلى ذكر كيس الحيوان الأيقونى الأسترالى المسمى بالكوال (koala)، وكيس أو جراب هذا الحيوان يفتح لأسفل وليس لأعلى مثل كيس الكنغر، وهذه ليست بالفكر الممتازة بالنسبة لحيوان يقضى وقته وهو يتثبث بجذوع الأشجار. مرة أخرى فإن سبب ذلك هو تراث تاريخى. حيوان الكوال سلالة تنحدر من سلف يشبه الومبت (Wombat). حيوانات الومبت أبطال لا تبارى في عمل الحفر،

> **"أنه يدفع وراء بقوة براثن كفه الضخمة وقد امتلأت بالتربة وكأنه حفارة ميكانيكة تحفر نفقا. لو كان كيس أسلافه يتجه أماما لأدى ذلك إلى أن تمتلئ عينى وأسنان أطفاله دائما بحبيبات التربة الخشنة. وهكذا يتجه الكيس وراء، وعندما يتسلق هذا الكائن إحدى الأشجار، ربما**

ليستفيد من مصدر طعام طازج، فإن "التصميم" الذى أتى معه، يكون أكثر تعقيدا من أن يتغير ".

وكما في حالة العصب الحنجرى الراجع، فقد يكون من الممكن تغيير إمبريولوجية الكوال لقلب كيسه في الاتجاه الآخر، ولكنى – فيما أخمن – أعتقد أن الجيشان الإمبريولوجى اللازم لمصاحبة تغيير رئيسى كهذا سيجعل حال التوسطيات أسوأ حتى من حال الكوال الذى تغلب على مشاكل أوضاعه الحالية.

إحدى النتائج الأخرى التى ترتبت على تحولنا من المشى على أربع إلى المشى على ساقين تختص بالجيوب، التى تسبب معاناة بالغة للكثيرين منا (بما في ذلك إياى لحظة كتابتى لهذا) لأن ثقب تصريف سائل هذه الجيوب موجود في آخر مكان معقول لأى تصميم مسبق جيد. يستشهد ويليامز بالأستاذ ديريك دينتون[١] أحد الزملاء الأستراليين وذلك بقوله: "الجيوب أو التجاويف الفقمية الكبيرة للفك العلوى موجودة وراء الوجنتين على جانبى الوجه. ثقب تصريف الجيوب يوجد بأعلاها، وليست هذه بالفكرة الجيدة جدا من حيث استخدام الجاذبية للمساعدة في تصريف سوائل الجيوب". في الحيوانات التى تمشى على أربع لا تكون هذه "القمة" قمة مطلقا وإنما هي في الأمام، وموضع ثقوب التصريف هكذا يكون معقولا بدرجة أكبر كثيرا: إلا أننا مرة أخرى نجد أن تراث التاريخ مسجل علينا كلنا.

يواصل ويليامز الاستشهاد بزميل أسترالى آخر، يساهم في الموهبة الأسترالية القومية في إلقاء عبارات ذم سُكّت جيدا، وهو يتحدث عن الدبور

---

(١) ينبغى ألا يُخلط بينه وبين أسترالى آخر يدعى مايكل دينتون محبوب لأتباع المذهب التكوينى. وهو في كتابه الثانى المعنون "قدر الطبيعة ". يغفل تماما حقيقة أنه في كتابه هذا قد ارتد عن موقعه السابق ضد التطور، بينما ظل مبقيا على الايمان بالتكوينية.

النمس(*) قائلا "لا بد وأنه قد صمم، إن كان قد صمم مسبقا، بطريقة سادية تلائم تصميما نغلا". زار داروين أستراليا وهو شاب صغير، إلا أنه عبر عن الشعور نفسه وإن كان ذلك بلغة أكثر رصانة وأقل اقتحاما، فيقول، "لا أستطع أن أقنع نفسى بوجود تصميم مسبق رحيم يؤدى إلى تكوين دبابير النمس بما تعبر عنه من تعمدها لأن تتغذى من داخل الأجساد الحية لليسروع". هذه الوحشية الأسطورية للدبابير النمس (وأيضا وحشية أقاربها من الدبابير الحفارة والدبابير العنكبية) هي كاللازمة المتكررة التى ستعاود الظهور في الفصلين الأخيرين من هذا الكتاب.

أجد من الصعب عليّ أن أوضح ما أوشك أن أقوله، ولكنه أمر واصلت التفكير فيه لفترة، ووصل إلى ذروته في ذلك اليوم الذى لا يُنسى عند تشريح الزرافة. عندما ننظر للحيوانات من الخارج يغمرنا الإعجاب بما نتوهمه من تصميم رائع. الزرافة العاشبة، القطرس المحلق (albatros)، طير السمامة الغواصة، الباز المنقض، سمكة تنين البحر المورقة وهى غير مرئية بين أعشاب البحر، فهد الشيتا وهو يقفز باسطا جسمه لأقصى حد وراء غزال انحرف واثبا في الهواء – يؤدى توهم التصميم بنا إلى تزايد الحس الحدسى به حتى أن الأمر يتطلب جهدا كبيرا لاستثارة وتحريك التفكير النقدى من أجل التغلب على إغواء الحدس الساذج. هذا ما يحدث عندما ننظر للحيوانات من الخارج. أما عندما ننظر إليها من الداخل، فإن الانطباع يكون بعكس ذلك. لا حاجة لإنكار أن "انطباع" التصميم الرائع تنقله إلينا الرسوم التوضيحية المبسطة في الكتب الدراسية، وقد رُسمت ببراعة وشفرت أجزاؤها بالألوان بمثل ما نراه في طبعة التصميم الزرقاء لأحد المهندسين. إلا أن الواقع الذى يصدمنا عندما نرى الحيوان وقد شُق مفتوحا فوق

(*) دبور النمس حشرة تفقس يرقاتها من داخل أجسام الحشرات الأخرى أو يرقاتها وتتغذى عليها. (المترجم)

مائدة التشريح لهو واقع مختلف جدا. أعتقد أننا لو طلبنا من أحد المهندسين أن يرسم مثلا نسخة محسنة من الشرايين وهى تغادر القلب، سيكون في هذا تدريبا تعليميا منورا. أتصور أن النتيجة ستكون شيئا مشابها لتشعب ماسورة العادم في إحدى السيارات، مع وجود صف منتظم من الأنابيب تخرج متفرعة في مصفوفة مرتبة، بدلا مما نراه بالفعل من التشوش كيفما اتفق عندما نشق صدرا حقيقيا.

كان هدفى من قضاء يوم مع علماء التشريح وهم يشرحون الزرافة هو أن أدرس العصب الحنجرى الراجع كمثل لعدم الكمال في التطور. ولكنى سرعان ما تبينت أنه من حيث ما يهم من عدم الكمال، فإن العصب الحنجرى الراجع ليس إلا قمة جبل الجليد العائم. حقيقة أن هذا العصب يتخذ هذا المسار الالتفافى الطويل تثبت هذه النقطة المهمة على نحو قوى خاص. هذا هو الجانب الذى يستثير هيلمهولتز في النهاية ليعيد الجهاز للنظاراتى. على أن الانطباع الطاغى الذى نناله عند إجراء بحث مسح لأى جزء من الأجزاء الداخلية لحيوان كبير هو أنه مشوش! لو وجد تصميم مسبق لما أدى أبدا إلى أخطاء بمثل هذا المسار الملتف للعصب، وليس هذا فحسب وإنما لن يحدث أبدا في تصميم بارع أن يصمم "أى شىء" من تلك الأحوال الفوضوية في متاهة تقاطع الشرايين والأوردة، والأعصاب، والأمعاء، وحشوات الدهن، والعضلات، والمساريقا(*) (mesentery)، وما هو أكثر. أستشهد هنا بالبيولوجى الأمريكى كولن بيتندراى إذ يقول أن الأمر كله ليس إلا "مرقعة من بدائل مؤقتة جُمعت أجزاؤها معا، وكأنها وُلفت مما كان متاحا عندما حانت الفرصة، وتم موافقة الانتخاب الطبيعى عليها بإدراك لما بعد وقوع الحدث وليس بتبصر لما قبل وقوعه".

(*) المساريقا أغشية تغلف الأمعاء وتربطها بجدار البطن وتسمى عاميا بالمنديل. (المترجم)

الفصل الثانى عشر

سباقات التسلح

و

"عدالة التطور"

من وجهة نظر رفاه الفرد، تُعد العيون والأعصاب، وقنوات نقل المنى، والجيوب والظهر، كلها سيئة التصميم، إلا أن أوجه نقص الكمال هذه تُعد معقولة على نحو كامل عند النظر إليها في ضوء التطور. ينطبق الشيء نفسه على الاقتصاديات الكبيرة للطبيعة. لعل من المتوقع إن وُجد تصميم مسبق ذكى، أنه لن يقتصر على تصميم أجسام أفراد الحيوانات والنباتات، وإنما سيتناول أيضا الأنواع بأكملها، والنظم الإيكولوجية بأسرها. ربما سيكون من المتوقع للطبيعة عندها أن يكون لها كيان من اقتصاديات مخططة. صممت بعناية للتخلص مـــن الإســـراف والتبديد. إلا أن الأمر ليس هكذا، وسيتضح ذلك من هذا الفصل.

الاقتصاد الشمسى

الاقتصاد في الطبيعة يستمد طاقته من الشمس. تهطل أمطار الفوتونات من الشمس على كل السطح النهارى لكوكبنا. الكثير من هذه الفوتونات لا تفيد بشيء أكثر من أن تسخّن صخرة أو شاطئا رمليا. القليل منها يجد طريقة إلى إحدى العيون- عينك، أو عينى، أو العين المركبة للجمبرى أو عين الإسقلوب[*] العاكسة ذات القطع المكافئ. قد يتفق أن تسقط بعض الفوتونات فوق لوح شمسى – إما أنه لوح من صنع الإنسان، مثل تلك الألواح التى ركبتها توا فوق سطح بيتى لتسخن مياه الحمام، وذلك أثناء نوبة من تحمسى لمبادئ الخضر، أو يكون اللوح ورقة نبات خضراء، تقوم بدور اللوح الشمسى للطبيعة. تستخدم النباتات الطاقة الشمسية

(*) الإسقلوب رخويات بحرية بصدفة مروحية. (المترجم)

لتدفع بعمليات التركيب الكيميائى "عاليا"، فيتم إنتاج أنواع وقود عضوية هي أساسا مواد سكرية. "تدفع عاليا" تعنى أن عملية تركيب السكر تحتاج لطاقة تدفعها، وبطريقة مماثلة يكون من الممكن لاحقا أن "يُحرق" السكر بتفاعل "لأسفل" يطلق (جزءا من) الطاقة لتستخدم مرة أخرى في عمل مفيد، كأن يكون مثلا لتشغيل العضلات، أو للشغل اللازم لبناء جذع شجرة ضخم. التشبيه بالاتجاه "لأعلى" و"لأسفل" هو تشبيه بتدفق الماء لأسفل من خزان مرتفع ودفع ساقية المياه (الناعورة) لأداء عمل مفيد؛ أو أن الماء يُضخ بطاقة فعالة لأعلى إلى الخزان المرتفع، بحيث يمكن استخدامه لاحقا لدفع ساقية المياه عندما يتدفق الماء ثانية لأسفل. تُفقد بعض الطاقة عند كل مرحلة من اقتصاديات الطاقة سواء دُفعت لأعلى أو لأسفل – لا توجد قط أى عملية لتنفيذ إجراء بالطاقة تكون ذات كفاءة مكتملة. هذا هو السبب في أن موظفى مكاتب تسجيل براءات الاختراع لا يحتاجون حتى إلى مجرد النظر إلى تصميمات ماكينات الحركة الدائمة(*): هذه ماكينات مستحيلة دائما أبدا. لا يمكن لنا أن نستخدم الطاقة المتجهة لأسفل من ساقية مياه لتضخ ثانية لأعلى المقدار نفسه من المياه بحيث يمكن له أن يدفع الساقية للعمل ثانية. لا بد من أن تكون هناك دائما بعض طاقة يغذَّى بها من الخارج لتعوض عن الفاقد – وها هنا تدخل الشمس. سوف أعود إلى هذا الموضوع المهم في الفصل الثالث عشر.

تكسو الأوراق الخضراء جزءا كبيرا من السطح البرى لكوكب الأرض، وتشكل هذه الأوراق مجمَّعا متعدد الطبقات. عندما لا يتم إمساك أحد الفوتونات بإحدى الأوراق، ستكون هناك فرصة جيدة لأن يتم الإمساك به بورقة أخرى بأسفل. عندما تكون هناك غابة كثيفة، لن تصل إلى الأرض فوتونات كثيرة لم يتم

(*) أحد الأحلام العلمية هي التوصل لآلة بمجرد أن نبدأ الحركة تواصل العمل إلى ما لا نهاية بدون مصدر خارجى للطاقة.(المترجم)

الإمساك بها. وهذا هو بالضبط السبب في أن الغابات الناضجة تكون عند المشى فيها أماكن بالغة الظلام. معظم الفوتونات التى تشكل النصيب الضئيل لكوكبنا من أشعة الشمس تصطدم بالمياه، وتزخر الطبقات السطحية من البحر بنباتات خضراء وحيدة الخلية تمسك بهذه الفوتونات. سواء في البحر أو في البر، هناك عملية كيميائية تحتبس الفوتونات وتستخدمها لتدفع "لأعلى" العمليات الكيميائية التى تستهلك الطاقة، حتى تنتج الجزيئات الملائمة لاختزان الطاقة مثل مواد السكر والنشا، هذه العملية كلها تسمى التمثيل الضوئى. هذه عملية تم اختراعها منذ أكثر من بليون سنة، بواسطة البكتريا، ولا تزال البكتريا الخضراء في الأساس من معظم عمليات التمثيل الضوئى. أستطيع أن أقول ذلك لأن الكلوروبلاستات – محركات التمثيل الضوئى الضئيلة الخضراء التى تؤدى بالفعل مهمة التمثيل الضوئى في كل الأوراق – هذه الكلوروبلاستات هي نفسها السلالة المنحدرة مباشرة من البكتريا الخضراء. بل هي حقا لا تزال تكاثر من نفسها ذاتيا داخل خلايا النبات بأسلوب البكتريا، ولهذا السبب يمكننا أن نقول منصفين أنها لا تزال تعد بكتريا، وإن كانت تعتمد بشدة على الأوراق التى تؤويها والتى تعطيها الكلوربلاستات لونها. يبدو أن البكتريا الخضراء التى كانت أصلا تعيش حرة، قد تم اختطافها داخل خلايا النبات، حيث تطورت في النهاية إلى ما نسميه الآن بالكلوروبلاستات.

هناك أيضا حقيقة مرتبة أحسن الترتيب سمتريا، فكما أن كيمياء الحياة المتجهة "لأعلى" تعتنى بها البكتريا الخضراء المزدهرة داخل خلايا النبات، فهناك أيضا كيمياء الأيض المتجهة "لأسفل" – الاحتراق البطيء للمواد السكرية وغيرها من مواد الوقود لتطلق طاقة في خلايا كل من الحيوانات والنباتات – وهذه الكيمياء بدورها تشكل خبرة خاصة لفئة أخرى من البكتريا، كانت ذات مرة تعيش حرة ولكنها الآن تكاثر من نفسها داخل خلايا أكبر حيث أصبحت تُعرف باسم

الميتوكوندريا. الميتوكوندريا والكلوروبلاستات تنحدر كسلالة من صنوف مختلفة من البكتريا، وقد بنى كل منهما القوى السحرية الكيميائية المكملة لهما منذ بلايين السنين السابقة لظهور أى كائن حى يمكن رؤيته بالعين المجردة. وحدث في وقت لاحق أنهما كليهما قد تم اختطافهما بالتحايل من أجل ما لهما من المهارات الكيميائية، فهما الآن يتكاثران في السوائل الداخلية لخلايا أكبر كثيرا وأشد تعقيدا داخل كائنات حجمها كبير بدرجة تكفى لأن نراها ونلمسها – في خلايا النبات في حالة الكلوروبلاستات، وخلايا النبات والحيوان في حالة الميتوكوندريا.

الطاقة الشمسية التى تأسرها الكلوروبلاستات في النباتات تكمن في الأساس من سلاسل الطعام المعقدة، التى تمر فيها الطاقة من النباتات إلى العاشبات، التى قد تكون من الحشرات، ثم إلى اللاحمات التى قد تكون من الحشرات أو الحشرات اللاحمة، وكذلك أيضا من الذئاب والنمور، ثم إلى القمّامات(*) مثل النسور وخنافس الروث، وأخيرا العوامل الفعالة للتحلل مثل الفطريات والبكتريا. في كل مرحلة من مراحل هذه السلاسل للطعام، تتبدد بعض الطاقة كحرارة أثناء مرورها في السلسلة، بينما يُستخدم البعض منها لدفع العمليات البيولوجية مثل انقباض العضلات. لا تُضاف أى طاقة جديدة بعد المُدخل الأصلى من طاقة الشمس. كل الطاقة التى تدفع بالحياة تأتى بأسرها من ضوء الشمس الذى تحتبسه النباتات؛ وذلك فيما عدا استثناءات معدودة وإن كانت مثيرة للاهتمام مثل الكائنات "الدخانية" التى تقطن في أعماق المحيط وتأتى طاقتها من مصادر بركانية.

هيا ننظر إلى شجرة طويلة وحيدة تنتصب في كبرياء وسط منطقة مفتوحة. لماذا هي طويلة. ليس سبب ذلك أن تكون الشجرة أقرب للشمس! من الممكن تقصير طول الجذع الطويل حتى ينبسط إكليل الشجرة فوق الأرض، دون أى

(*) القمّامات: الحيوانات التى تقتات بالجيف والفضلات. (المترجم)

خسارة من الفوتونات وبتوفير هائل في التكلفة. لماذا إذن تذهب الشجرة إلى بذل كل هذا الجهد لدفع إكليلها لأعلى تجاه السماء ؟ ستظل الإجابة تروغ منا حتى ندرك أن المثوى البيئى الطبيعى لهذه الشجرة هو الغابة. الأشجار يبلغ من طولها أن تحاول أن تعلو على قمة الأشجار المنافسة – سواء من النوع نفسه أو من الأنواع الأخرى. علينا ألا يضللنا مرأى إحدى الأشجار وهى في حقل أو حديقة مفتوحين، ولها فروع مورقة بطول الطريق إلى الأرض. سيكون لها ذلك الشكل المدوّر المحبب كثيرا لدى صف الضباط المعلمين وذلك لأنها "تكون" في حقل أو حديقة مفتوحين[1]. إننا نراها هكذا وهى خارج موطنها البيئى، وهو الغابة الكثيفة. الشكل الطبيعى لشجرة الغابة هو أن تكون طويلة وعارية الجذع، ومعظم الفروع والأوراق قريبة من القمة – في الظلة التى تحمل عبء وابل الفوتون. والآن هاكم فكرة غريبة. لو أن كل الأشجار في الغابة استطاعت أن تصل إلى نوع من الاتفاق – مثلما يحدث في إحدى نقابات العمال من ممارسات مقيدة – فلا تنمو أى شجرة لما يعلو مثلا عن عشرة أقدام، سوف تستفيد عندها كل شجرة. سوف يتمكن المجتمع كله – كل المنظومة الإيكولوجية – من أن تجنى المكاسب بتوفير الخشب والطاقة، التى تستهلك في بناء هذه الجذوع الشاهقة المكلفة.

من المعروف جيدا أن ثمة صعوبة في التوصل إلى اتفاقات من هذا النوع من الكبح المتبادل، حتى في المشاكل البشرية عندما يكون من المحتمل إننا قد نستخدم موهبة التبصر في العواقب. أحد الأمثلة المألوفة، هي أن يُطرح الاتفاق علـــى أن نجلس بـــدلا مـــن أن نقف أثناء مراقبة أحد المشاهد مثل سباق الخيل. لو جلس كل فرد، سيظل الأفراد الأطول يحظون برؤية أفضل مما يناله القصيرون،

(١) يوجد في الجيش ثلاثة صنوف من قمم الأشجار: التنوب الإبرى، والحور الخشبى والصفصاف الكثيف الأشعث.

تماما مثل ما سيحظون به عندما يقف الجميع، إلا أن الجلوس له ميزة أنه أكثر راحة لكل فرد. تبدأ المشكلة عندما يقف شخص قصير كان يجلس وراء آخر طويل، لينال رؤية أفضل. سيحدث في التو أن يقف الشخص الجالس وراءه، حتى يستطيع بأى حال أن يرى أى شيء. لا تلبث موجة الوقوف أن تكتسح كل المكان، حتى نجد أن الجميع يقفون. في النهاية يكون حال الجميع أسوأ مما لو كانوا قد بقوا جميعا جالسين.

في الغابة النمطية الناضجة، يمكننا أن نعتبر الظلة وكأنها مرج جوى، وكأنها تشبه تماما برارى عشبية متموجة، ولكنها قد رُفعت فوق ركائز عالية. ظلة الغابة تجمع الطاقة الشمسية بمعدل السرعة نفسها مثل عشب البرارى. إلا أن نسبة لها قدرها من الطاقة "تتبدد" في التغذية المباشرة للركائز المرتفعة التى لا تؤدى أى شيء مفيد أكثر من أنها ترفع "المرج "عاليا في الهواء، حيث يتم جمع محصول الفوتونات بالمقدار نفسه بالضبط الذى كان سيتم جمعه به – بتكلفة أقل كثيرا – لو كانت الظلة ترقد مسطحة فوق الأرض.

يصل بنا هذا إلى أن نلتقى وجها بوجه مع الفارق بين اقتصاد يصمم مسبقا وبين اقتصاد التطور. في الاقتصاد المصمم مسبقا لن تكون هناك أشجار، أو من المؤكد أنه لن تكون هناك أشجار طويلة جدا: لا غابات ولا ظلة. الأشجار فيها تبديد. الأشجار فيها إسراف. جذوع الأشجار نصب تذكارية للتنافس بلا فائدة – بلا فائدة عندما نفكر بلغة من الاقتصاد المخطط. ولكن اقتصاد الطبيعة ليس مخططا. النباتات الفردية تتنافس مع النباتات الأخرى، من النوع نفسه ومن الأنواع الأخرى، والنتيجة هي أن الأشجار تنمو لأطول وأطول، أطول كثيرا مما قد يوصى به أى مخطط. على أن الأشجار لا تظل تطول إلى ما لا نهاية. عند حد معين سنجد أنه عندما تطول الشجرة لقدم آخر أطول، فإنه على الرغم مما يكسبها هذا من ميزة

تنافسية، إلا أن فيه تكلفة باهظة تؤدى بالشجرة المفردة التى تفعل ذلك إلى أن ينتهى أمرها إلى حال أسوأ من منافسيها الذين يمتنعون عن النمو بهذا القدم الإضافى. ما يحدد في النهاية الارتفاع الذى تُضغط الأشجار للنمو إليه هو التوازن بين التكاليف والفوائد التى تعود على الشجرة المفردة، وليس الفوائد التى يمكن أن يحسبها مخطط عقلانى للشجر كمجموعة. ومن الطبيعى أن التوازن ينتهى عند حدود قصوى مختلفة في الغابات المختلفة. ربما لم يحدث مطلقا أن وجدت غابات تتفوق في ذلك على غابات الشجرة الجبارة(*) بساحل المحيط الهادى (وعلى القارئ أن يسعى لرؤيتها قبل حلول الأجل).

دعنا نتخيل مصير غابة افتراضية – ولنسميها "غابة الصداقة" – يحدث فيها عن طريق بعض انسجام غامض، أن تمكنت الأشجار بطريقة ما من أن تتوصل إلى الهدف المطلوب بتخفيض ارتفاع الظلة كلها إلى عشرة أقدام. ستبدو الظلة مماثلة تماما لأى ظلة غابة أخرى فيما عدا أن ارتفاعها هو ١٠ أقدام بدلا من مائة قدم. من وجهة نظر الاقتصاد المخطط، ستكون "غابة الصداقة" بصفتها "كغابة" أكثر كفاءة من الغابات الطويلة الأشجار المألوفة لنا لأن الموارد هنا لا تُنفق في إنتاج جذوع ضخمة ليس لها من هدف سوى التنافس مع الأشجار الأخرى.

ولكن دعنا نفترض الآن أن شجرة طافرة واحدة قد انبثقت عاليا وسط "غابة الصداقة ". هذه الشجرة المارقة ستنمو لما هو أطول حديا من معيار الأقدام العشرة المتفق عليه. هذه الشجرة الطافرة ستكتسب في التو ميزة تنافسية. مما لا ينكر، أن عليها أن تدفع تكلفة هذا الطول الإضافى لجذعها. ولكنها تنال تعويضا يفوق هذه التكلفة، "طالما أن سائر الأشجار الأخرى ستظل مذعنه للائحة إنكار الذات"، ذلك

(*) شجر الجبارة شجر صنوبرى يكثر في كاليفورنيا ولون خشبه أحمر وحجمه ضخم للغاية وقد يصل طوله إلى ١٠٠ متر.(المترجم)

أن الفوتونات الإضافية التى يتم حصدها ستؤدى تعويضا يفوق التكلفة الإضافية لزيادة طول الجذع. وبالتالى، فإن الانتخاب الطبيعى يحبذ النزعة الوراثية للتمرد على لائحة إنكار الذات، وأن تنمو الشجرة لارتفاع أعلى هونا، كأن يكون مثلا لأحد عشر قدما. مع مرور الأجيال، سنجد أن المزيد والمزيد من الأشجار تتمرد على الحظر المفروض على الارتفاع. في النهاية، عندما يصبح طول كل الأشجار في الغابة أحد عشر قدما، سيكون حالها أسوأ عن ذى قبل: فكلها تدفع تكلفة النمو بقدم إضافى. ولكنها لا تنال أى فوتونات إضافية مقابل جهدها. والآن فإن الانتخاب الطبيعى سيحبذ أى نزعة طفرية للنمو مثلا إلى اثنى عشر قدما. وهكذا فإن الأشجار تواصل أن تزداد وتزداد طولا. هل سيحدث بأى حال أن يصل هذا التسلق غير المجدى تجاه الشمس إلى نهايته؟ لماذا لا يصل ارتفاع الأشجار إلى مسافة الميل، لماذا لا يكون مثل طول شجرة الفول في حكاية جاك الأسطورية ؟ يتقرر حد النمو عند الارتفاع الذى تكون فيه التكلفة الحدية للنمو لقدم أعلى تكلفة تفوق مكسب الفوتونات الناتج عن النمو بهذا القدم الإضافى.

يدور حديثنا في هذا النقاش كله حول التكاليف والفوائد الفردية. ستبدو الغابة مختلفة تماما لو كان اقتصادها قد تم تصميمه لفائدة الغابة "ككل". في الحقيقة، فإن ما نراه فعلا هو غابة يتطور فيها كل نوع من الشجر عن طريق الانتخاب الطبيعى الذى يحابى الأشجار "الفردية " التى تفوقت في التنافس مع أشجار منافسة فردية، سواء من نفس نوعها أو من أنواع أخرى. يتفق كل ما يتعلق بالأشجار مع الرأى بأنها لم تصمم مسبقا – إلا بالطبع إذا كانت قد صممت لتمدنا بالخشب، أو لتبهج أعيننا، وترضى غرور كاميراتنا في "خريف ولايات نيو إنجلند". والتاريخ لا يخلو من ذكر من يؤمنون بذلك بالضبط، وبالتالى، هيا نتحول إلى قضية مماثلة حيث من الأصعب أن يُزعم أن فيها أى ميزة للبشر. قضية سباق التسلح بين الصائدين وطرائد الصيد.

الجرى مع مواصلة البقاء في المكان نفسه

أسرع خمسة عدائين من الأنواع الثديية هم فهد الشيتا، والوعل الشائك القرن (pronghorn) (وكثيرا ما يُسمى في أمريكا بالظبى (antelope) وإن لم يكن على صلة قرابة وثيقة بظباء أفريقيا "الحقيقية")، والنو (gnu) أو التيتل الأفريقى، (وهو ظبى حقيقى وإن لم يكن يشبه كثيرا الظباء الأخرى)، والأسد، وغزال تومسون (ظبى حقيقى آخر لا يبدو حقا مشابها للظبى المعيارى، وهو صغير الحجم). دعنا نلاحظ أن هؤلاء العدائين القمة هم خليط من الصائدين وطرائد الصيد، والنقطة المهمة لدىّ هنا أن هذا ليس مجرد مصادفة.

يقال عن فهود الشيتا أنها تستطيع أن تزيد سرعتها من الصفر إلى الستين ميلا في الساعة خلال ثلاث ثوانى، وهو ما يصل مباشرة إلى أداء سيارة الفيرارى أو البورش أو التيسلا. الأسود أيضا لديها قدرة هائلة على زيادة سرعتها، وهى أفضل حتى من الغزلان التى لديها قدرة احتمال وقدرة مراوغة أكبر. القطط(*) عموما بُنيت أجسادها للسباق المفاجئ القصير، والوثب على الفريسة التى تؤخذ على غرة؛ الكلاب مثل كلب كيب للصيد هي أو الذئب قد بُنيت أجسادها للتحمل ولإجهاد فرائسها حتى تذعن. الغزلان والظباء الأخرى عليها أن تتغلب على كلا النوعين من المفترسين، وربما عليها أيضا أن تصل معها إلى حل وسط توفيقى. تسارع الغزلان والظباء ليس تماما بجودة تسارع القطط الكبيرة، إلا أن لها قدرة أفضل على التحمل. أحيانا يستطيع الغزال بالمراوغة أنْ يُلقى بالشيتا بعيدا عن مساره، وبالتالى يؤجل من الأمور حتى يتجاوز الشيتا مرحلة أقصى تسارع له ليدخل في مرحلة إنهاكه، حيث يكون هناك تأثير فعال لضعف قدرته على الاحتمال. جولات الصيد الناجحة عند الشيتا تنتهى عادة بسرعة بعد بدئها، إذ يعتمد الشيتا

(*) المقصود هنا جنس السنوريات عموما، بما فيها الأسد والنمر. (المترجم)

على المفاجأة والقدرة على تزايد السرعة. جولات صيد الشيتا الفاشلة تنتهى أيضا مبكرة، إذ يتوقف فهد الشيتا ليوفر طاقته عندما يفشل سباقه الأصلى المفاجئ. وبكلمات أخرى فإن جولات الصيد عند الشيتا قصيرة الزمن!

دعنا لا نهتم بتفاصيل السرعات القصوى، والقدرة على تزايد السرعة، والقدرة على التحمل والمراوغة، والمفاجأة والاستمرار في المطاردة. الحقيقة الملحوظة هي أن قائمة أسرع الحيوانات تشمل معا تلك التى تصيد وتلك التى تُصطاد. الانتخاب الطبيعى يدفع الأنواع المفترسة لأن تصبح دائما أفضل في الإمساك بالفريسة، وهو في الوقت نفسه يدفع أنواع الفرائس لأن تكون دائما أفضل في الهروب من المفترسين. المفترسون والفرائس مشتركون دائما في سباق تسلح تطورى، يجرى في الزمان التطورى. نتيجة ذلك هي تصاعد مطرد في كمية الموارد الاقتصادية التى تنفقها الحيوانات من الجانبين في سباقات التسلح، على حساب الأقسام الأخرى من اقتصاديات جسدها. الصائدون والطرائد معا يصبحون على نحو مطرد مجهزين تجهيزا أفضل ليسبق كل جانب (بالمفاجأة، والحيلة.. إلخ) الجانب الآخر. ولكن تحسين التجهيز للتفوق في السباق لا تتم ترجمته بوضوح إلى تحسن في النجاح في السبق – وذلك لسبب بسيط، وهو أن الجانب الآخر في سباق التسلح يرتقى أيضا بتجهيزاته: هذه هي السمة المميزة لسباق التسلح. يمكننا أن نقول كما قالت الملكة الحمراء لأليس(*)، بأن عليهما الجرى باقصى سرعة يمكنهما الجرى بها لمجرد أن تظلا باقيتين في المكان نفسه.

كان داروين متنبها تماما لسباقات التسلح التطورية، وإن كان لم يستعمل العبارة. نشر زميلى جون كريبس معى ورقة بحث عن هذا الموضوع في ١٩٧٩،

(*) استشهاد بواقعة من رواية "مغامرات أليس في بلد العجائب" وهى رواية إنجليزية خيالية مشهورة للأطفال ألفها لويس كارول ١٨٦٥. (المترجم)

أرجعنا فيها عبارة "سباق التسلح" إلى هيو كوت عالم البيولوجيا البريطانى. ربما يكون كوت قد نشر، بما له مغزاه، كتابه "التلون التكيفى للحيوانات" في ١٩٤٠، في العمق من زمن الحرب العالمية الثانية ويقول فيه:

> **"قبل أن نجزم بأن المظهر المخادع لجراد الجندب أو للفراشة فيه تفاصيل لا ضرورة لها، يجب أولا أن نتأكد مما تكونه قدرات الإدراك والتمييز عند الأعداء الطبيعيين للحشرة. إن لم نفعل ذلك تكون كمن يجزم بأن تدريع المدمرة أثقل مما يلزم، أو أن مدى مدفعيتها أكبر مما يلزم، بدون أن نبحث طبيعة وفعالية تسليح العدو. في الحقيقة فإننا عندما ننظر إلى الصراع البدائى في الغابة ثم إلى ما في الحروب المتمدينة[١] من صقل بالتحسينات، فإننا نرى فيهما معا تطور سباق تسلح هائل وهو يزداد تقدما – وتبدو نتائجه الدفاعية ظاهرة في أدوات مثل السرعة، والانتباه، والدروع، والأشواك الحامية، وعادات حفر الجحور، وعادات الحياة الليلية، والإفرازات السامة، والطعم المثير للغثيان، والتلون في محاكاة للتمويه أو الإنذار؛ كما تبدو نتائجه الهجومية في خواص مضادة لما سبق مثل السرعة، والمباغتة، والكمائن، والإغراء، وحدة البصر، والمخالب، والأسنان، واللدغ، والأنياب السامة، والتلون في إغراء أو ضد الخفاء. وكما أن تزايد سرعة الطريدة يتنامى في علاقة مع تزايد سرعة المطارد، أو كما أن درع الاحتماء يتزايد في علاقة مع**

---

(١) هذا ترادف يجمع كلمتين متناقضتين، إن كان هناك أصلا أى ترادف.

الأسلحة العدوانية، فإنه بمثل ذلك تماما تتطور وسائل الكمال في أجهزة التخفى كأستجابة لتزايد القــدرة علـــى الإدراك ".

دعنا نلاحظ أن سباق التسلح يجرى في سياق زمان تطورى. ينبغى ألا نخلط بينه وبين السباق الذى يحدث مثلا بين أحــد أفراد فهد الشيتا واحد الغزلان، فهذا سباق يجرى في الزمان الواقعى. السباق في الزمان التطورى ســباق يجــرى لبنـــاء تجهيزات لسباقات تجرى في الزمان الواقعى. ما يعنيه هــذا بالفعل هو أن الجينات تتعــزز فـــي المــستودعات الجينيـــة للجانبين من أجل صنع أجهزة في أحد الجانبين للتفوق علـــى الجانب الآخر في سعة الحيلة أو في سباق الجرى. ثم ثانيا – وهذه نقطة كان داروين نفسه يدركها جيدا – فإن جهاز العدو السريع يُستخدم من أجل سبق "المتنافسين" من النوع نفسه، الذين يفرون من المفترس نفسه. هناك نكتة مشهورة، فيهـــا ما يكاد يذكرنا بحكايات إيسوب[*]، وتدور حول ارتداء أحذية الجرى مع وجود دب يقف إزاء أحد الأفراد.[١] عندما يطـــارد فهد الشيتا قطيع غزلان، قد يكون الأمر الأكثر أهمية بالنسبة للغزال الفرد هو أن يسبق أبطأ عضو في القطيع ولـــيس أن يسبق الشيتا.

(*) إيسوب كاتب إغريقى قبل الميلاد ألف حكايات على لسان الحيوان. (المترجم)

(١) هناك مسافران يتبعهما دب، ويجرى أحدهما بعيدا، بينما يظل الآخر متوقفا ليرتدى حذاءه للجرى. "هل أنت مجنون؟ لن تستطيع أن تسبق الدب حتى لو كنت ترتدى حذاء الجرى". "كلا، لن أستطيع ذلك، ولكننى أستطع أن أسبقك أنت به.

الآن وقد قدمت للقارئ مصطلحات سباق التسلح فإنه يستطيع أن يرى أن الأشجار في إحدى الغابات تتشارك أيضا في أمر واحد. الأشجار الفردية تتسابق تجاه الشمس ضد جيرانها المباشرين في الغابة. يغدو هذا السباق قويا بشكل خاص عندما تموت شجرة مسنة وتترك فتحة خاوية في الظلة. صدى ارتطام شجرة عجوز عندما تسقط هو طلقة بداية السباق في الزمان الواقعى، (وإن كان هذا الزمان أبطأ من الزمان الواقعى الذى تعودنا عليه نحن الحيوانات)، سباق بين الأشجار الشابة التى كانت تترقب فرصة كهذه. والأرجع أن يكون من يكسب السباق شجرة مجهزة جيدا، بواسطة جينات ازدهرت أثناء سباق تسلح بين الأسلاف في الزمان التطورى، حتى تنمو الشجرة سريعا وعاليا.

سباق التسلح بين أنواع أشجار الغابة سباق سمترى. يحاول الجانبان إنجاز الشيء نفسه: التوصل إلى مكان في الظلة. أما سباق التسح بين المفترسين والفريسة فهو لا سمترى: أنه سباق تسلح بين أسلحة هجومية وأسلحة دفاعية. يصدق الشيء نفسه على سباق التسلح بين الطفيليات وعائليها. بل أن هناك حتى سباق تسلح بين الذكور والإناث داخل أحد الأنواع، وكذلك بين الوالدين وذريتهم، وإن بدا في هذه السباقات ما يثير الدهشة.

هناك أحد الأمور في سباقات التسلح قد يكون فيه ما يزعج المتحمسين للتصميم المسبق الذكى، وهو الجرعة الثقيلة من اللا جدوى التى تثقل هذه السباقات. لو أننا افترضنا وجود تصميم مسبق للشيتا، سيكون من الواضح أن كل ذرة من هذا التصميم المحنك إنما تُرتَب لتؤدى إلى الكمال الأمثل لأحسن قاتل. القاء نظرة واحدة على هذه الماكينة الفخيمة للجرى لا يخلف لدينا أى شك في ذلك. فهد الشيتا، إذا تحدثنا بأى حال بلغة التصميم، قد تم تصميمه على نحو رائع لقتل الغزلان. إلا أنه بلغة من التصميم المسبق نفسه نجد بما يساوى ذلك وضوحا أن

هناك جهد كبير لتصميم غزال يجهَّز على نحو رائع للهرب من نفس فهود الشيتا. بحق السماء، إلى أى جانب ينحاز التصميم المسبق ؟ عندما ننظر إلى عضلات الشيتا المشدودة وعموده الفقرى المرن. لا بد من أن نستنتج أن التصميم المسبق يريد أن يكسب الشيتا السباق. ولكن عندما ننظر أيضا إلى الغزال العداء، وما له من الحيلة والمراوغة، فإننا نصل بالضبط إلى الاستنتاج المضاد. هل التصميم المسبق يؤدى مهمة في جانب ولا يدرك ما يؤدى في الجانب الآخر ؟ هل في التصميم المسبق نزعة سادية لإمتاع المتفرجين بالتصعيد الأبدى للصفات المضادة في كلا الجانبين حتى تزيد متعة الطراد ؟ هل التصميم المسبق الذى صنع الحمَل يصنع معه الذئب ؟

هل هناك حقا جزء من التصميم المسبق يؤدى إلى أن يرقد النمر بجوار الصبى، وأن يأكل الأسد التبن مثل الثور ؟ وفى هذه الحالة ماذا يكون ثمن تلك الأسنان القوية القاطعة، والمخالب القاتلة للأسد والنمر ؟ لأى سبب تكون سرعة الغزال والفرا التى تأخذ بالأنفاس هي وفن هروبها برشاقة ؟ لا حاجة بنا لأن نقول أنه لا تنشأ أسئلة ومشاكل من هذا النوع عندما نستخدم التفسير التطورى لما يجرى هكذا. يناضل كل جانب من أجل التفوق في سعة الحيلة على الآخر؛ لأنه يحدث في كلا الجانبين أن تلك الأفراد التى تنجح سوف تمرر أوتوماتيكيا الجينات التى أسهمت في نجاحها. تنبثق أفكار "اللاجدوى" و"التبديد" في عقولنا لأننا بشر ولنا القدرة على النظر إلى ما فيه صالح المنظومة الإيكولوجية ككل. أما الانتخاب الطبيعى فيهتم فقط باستمرار بقاء وتكاثر الجينات المفردة.

الأمر يماثل حالة الأشجار في الغابة. وكما أن كل شجرة لها اقتصادها، حيث السلع التى توضع في الجذع تكون غير متاحة للثمار أو الأوراق، فبمثل ذلك نجد أن فهود الشيتا والغزلان يكون لكل واحد منها اقتصاده الداخلى الخاص به.

الجرى بسرعة له تكلفته، ليست فحسب تكلفة من الطاقة التى تُنتزع أساسا من الشمس وإنما أيضا تكلفة المواد التى تذهب إلى صنع العضلات، والعظام، والأوتار– ماكينة السرعة والتسارع. الطعام الذى يأكله الغزال في شكل مواد نباتية طعام محدد في كميته. أيا كان ما يُنفق لبناء العضلات والسيقان الطويلة من أجل الجرى، فإنه يجب انتزاعه من أحد الأقسام الأخرى لأنشطة الحياة، مثل صنع المواليد، فهذا نشاط ربما "يفضل" الحيوان على نحو مثالى أن ينفق موارده فيه. هناك توازن معقد لأقصى حد للحلول الوسطى التوفيقية وهى حلول تعالَج على نحو ميكروى (مصغر). إننا لا نستطيع أن نعرف كل التفاصيل، ولكننا نعرف بالفعل (حسب قانون في الاقتصاديات لا يمكن الخروج عنه) أن من الممكن أن يتم الإنفاق "بأكثر مما ينبغى" في أحد أقسام الحياة، وأن هذا بالتالى ينتزع الموارد بعيدا عن بعض قسم آخر من الحياة. عندما يضع أحد الأفراد قدرا من موارده في سبيل الجرى بأكبر من القدر الأمثل ربما سيتمكن بذلك من النجاة بنفسه. ولكنه بالمقياس الداروينى للفرص قد يتفوق عليه في المنافسة فرد منافس من نوعه نفسه، هو إن كانت سرعة جريه أقل قليلا وبالتالى يتعرض باحتمال أكبر لخطر أن يؤكل، إلا أنه يتوصل لحالة توازن صحيح بحيث ينتهى حاله بإنجاب سلالة أكثر تمرر جينات الحصول على التوازن الصحيح.

لا يقتصر الأمر على أن الطاقة والمواد المكلفة هي التى يجب أن تكون في توازن صحيح. هناك أيضا التعرض للخطر: والمخاطر أيضا ليست بالشأن الغريب عند الاقتصاديين. السيقان الطويلة الرفيعه أكثر صلاحية للجرى السريع. من المحتم أنها أيضا أكثر صلاحية أو أكثر قابلية للكسور. يحدث على نحو أكثر من منتظم أن تنكسر ساق حصان في سباق الخيل في حمية التسابق، وعادة فإنه يُعدم في التو. وكما رأينا في الفصل الثالث، السبب في أن خيل السباق أكثر عرضة للكسر هكذا هي أن يبالغ في تربيتها للسرعة على حساب كل شيء آخر. الغزلان

وفهود الشيتا هي أيضا قد تم إنسالها انتخابيا بهدف السرعة – وتم هذا الانتخاب طبيعيا وليس اصطناعيا – وهى أيضًا تكون أكثر عرضة للكسور إذا حدث أن بالغت الطبيعة في إنسالها للسرعة. ولكن الطبيعة لا تبالغ أبدا في إنسالها لأى هدف كان. الطبيعة تجعل التوازن صحيحا. العالم ملىء بجينات تجعل التوازن صحيحا: هذا هو السبب في أننا موجودون هنا ! ما يعنيه هذا عند التطبيق عمليا هو أن الأفراد الذين لديهم نزعة وراثية لتنمية سيقان طويلة نحيلة على نحو استثنائى، والتى لا ينكر أحد أنها ذات قدرة فائقة على الجرى، هؤلاء الأفراد يكون احتمال تمرير جيناتهم في المتوسط أقل ترجيحا عما عند الأفراد الأبطأ قليلا في سرعتهم حيث يكون احتمال كسر سيقانهم الأقل في رفعها احتمالا أقل. هذا مجرد مثل واحد افتراضى بين مئات من أمثلة المقايضات والحلول الوسط التوفيقية التى تتحايل بها كل الحيوانات والنباتات. فهى تتحايل بالنسبة للمخاطر، وتتحايل بالنسبة للمقايضات الاقتصادية. وطبيعى أن من يقوم بالتحايل ويصحح التوازن ليست هي أفراد الحيوانات والنبات، وإنما ما يحدث هو أن الأعداد النسبية من الجينات التبادلية في مستودعات الجينات هي التى تم التحايل بها وتصحيح توازنها بواسطة الانتخاب الطبيعى.

في إمكان المرء أن يتوقع أن الحل الوسط الأمثل في عملية المقايضة لا يكون ثابتا. بالنسبة للغزلان فإن الحل الوسط للمقايضة بين سرعة الجرى والمطالب الأخرى داخل نطاق اقتصاد الجسم سيتغير وضعه الأمثل بما يعتمد على مدى انتشار اللاحمات في المنطقة. إنها القصة نفسها كما بالنسبة لسمك الجابى في الفصل الخامس. عندما يكون عدد المفترسين قليلا في المنطقة، سيكون الطول الأمثل لساق الغزال طولا أقصر: أكثر الأفراد نجاحا ستكون من تجعلها جيناتها قابلة لأن تحول بعض الطاقة والمادة بعيدا عن السيقان حتى نستخدم مثلا في صنع المواليد، أو تخزين الدهن من أجل الشتاء. ستكون هذه الأفراد أيضا أقل عرضة

لأن تتكسر سيقانها. وعلى عكس ذلك فإنه عندما يتزايد عدد المفترسين، سينتقل التوازن الأمثل تجاه السيقان الأطول، وتتزايد خطر الكسور، وإنفاق طاقة ومادة أقل في تلك الجوانب من اقتصاد الجسد التى لا تختص بالجرى السريع.

ستعمل نفس هذه الأنواع بالضبط من الحسابات الضمنية لموازنة الحلول الوسط المثلى عند المفترسين. لا شك في أن فهد الشيتا الذى يكسر ساقه سوف يموت جوعا، وكذلك أيضا جراؤه. على أن الأمر يعتمد على مدى صعوبة العثور على وجبة، فاحتمال الخطر من الفشل في الحصول على طعام كاف إذا كان فهد الشيتا يجرى بسرعة أبطأ مما ينبغى ربما سيفوق في وزنه احتمال الخطر من كسر ساق عن طريق تجهيز الفهد من أجل الجرى بأسرع مما ينبغى.

ينحبس المفترسون والفرائس في سباق تسلح يحدث فيه أن كل جانب يضغط بغير تعمد على الجانب الآخر ليغير من وضعه الأمثل – من حيث الحلول الوسط الاقتصادية والحلول الوسط لمخاطر الحياة – وهو تغيير أكثر وأكثر في الاتجاه نفسه: إما بالمعنى الحرفى لعبارة "للاتجاه نفسه" كما مثلا في اتجاه زيادة سرعة الجرى؛ أو بمعنى أوسع لعبارة "للاتجاه نفسه " بحيث يهدف إلى سباق التسلح بين المفترس/ الفريسة بدلا من بعض قسم آخر من أنشطة الحياة مثل إنتاج اللبن. باعتبار أن كلا الجانبين عليهما أن يوازنا احتمال المخاطر الموجود مثلا في الجرى بأسرع من اللازم (كخطر كسر السيقان أو التقتير في أمور أجزاء أخرى من اقتصاد الجسم) إزاء احتمال مخاطر الجرى بأبطأ مما يلزم (كخطر الفشل في إمساك الفريسة، أو الفشل في الفرار حسب الترتيب)، ويدفع كل جانب الجانب الآخر في الاتجاه نفسه، في نوع شرس من "جنون مشترك بين اثنين".

حسن، لعل كلمة "جنون " لا تفى تماما بخطورة الأمر، ذلك أن عاقبة الفشل في أى من الجانبين هي الموت – القتل في جانب الفريسة، والموت جوعا في

جانب المفترس. ولكن عبارة "المشترك بين اثنين " تستوعب ببراعة الشعور بأنه لو حدث فحسب أن تمكن الصياد والطريدة من الجلوس معا والتوصل إلى اتفاق معقول، سيكون الجميع أحسن حالا. وكما يحدث بالضبط بالنسبة للأشجار في "غابة الصداقة"، فإن من السهل أن ندرك كيف أن اتفاقا كهذا سيفيد الجميع، لو أمكن فحسب التمسك به. إلا أن نفس الإحساس باللاجدوى الذى واجهناه في حالة الغابة يسود أيضا في سباق تسلح المفترس/الفريسة. المفترسون يغدون عبر الزمان التطورى أفضل في الإمساك بالفريسة على أن تكون أفضل في تجنب الإمساك بها. يعمل كلا الجانبين في تواز على تحسين "أجهزتهما" للبقاء في الوجود، ولكن ليس من الضرورى أن أيا منهما يظل باقيا بأفضل – وذلك لأن الجانب الآخر يحسّن أيضا من أجهزته.

ومن الناحية الأخرى من السهل إدراك كيف أن وجود تصميم مركزى مسبق، بحيث يكون رفاه المجتمع بأسره في القلب منه، ربما يتوصل لأن يحكم ويفصل في اتفاق بالشروط التالية التى تجرى حسب نظام خطوط "غابة الصداقة". فلندع كلا الجانبين "يتفقان" على تخفيض تسلحهما "فيحول كلا الجانبين مواردهما لأقسام أخرى من أنشطة الحياة، وسينتج عن ذلك أن يكون حال الجميع أفضل. وبالطبع فإن هذا نفسه بالضبط يمكن أن يحدث في سياق تسلح بشرى. لن نحتاج لطائراتنا المقاتلة إذا كان الجانب الآخر ليس لديه قاذفات قنابل. لن يحتاج الطرف الآخر إلى قذائف صاروخية إذا لم يكن لدينا شيء منها. يستطيع كلا الجانبين معا توفير البلايين إذا خفضا للنصف نفقات التسلح ووضعا النقود في صناعة شفرات المحاريث. والآن، وقد خفضنا للنصف ميزانية أسلحتنا مع التوصل إلى وضع ثابت، هيا نخفض الميزانية ثانية للنصف. الحيلة البارعة هنا هي أن يتم ذلك في تزامن بين كل جانب والآخر، بحيث يظل كل جانب في نفس الدرجة بالضبط من حسن الاستعداد للتناظر مع ما يحدث في الجانب الآخر من تخفيض مطرد لميزانية

التسلح. هذا التخفيض المخطط يجب أن يكون هكذا بالضبط – أى أن يكون مخططا. مرة أخرى فإن ما يكون مخططا هو بالضبط ما لا يكون التطور. وكما في حالة أشجار الغابة، فإن تصعيد السباق يكون محتوما، ويظل مستمرا حتى اللحظة التى لا يعود التصعيد فيها يعطى بعد أى مكسب للفرد النمطى. التطور، بخلاف التصميم المسبق، لا يتوقف أبدا لينظر فيما إذا كان هناك فيما يحتمل طريقة أفضل – طريقة من تبادل المنفعة – بالنسبة لكل من يتعلق بهم الأمر، وذلك بدلا من التصعيد في الجانبين من أجل ميزة أنانية: ميزة يبطل تأثيرها بسبب هو بالضبط أن التصعيد "مزدوج" فعلا.

ظل الإغراء بالتفكير على أساس تصميم مسبق ينتشر طويلا بين "الإيكولوجيين الشعبيين"، بل نجد حتى أن الإيكولوجيين الأكاديميين يقتربون أحيانا اقترابا وثيقا خطيرا من هذا الإغراء. هكذا نجد مثلا أن الفكرة المغرية عن "المفترسين الحكماء" لم تكن حلما يدور في رأس شخص أبله يحتضن الأشجار، وإنما هي حلم أتى على يد إيكولوجى أمريكى مرموق.

فكرة المفترسين الحكماء هي كالتالى. يعرف الجميع أنه من وجهة نظر الإنسانية ككل، سيكون حالنا أفضل لو أننا جميعا أحجمنا عن الإسراف في صيد نوع مهم من الطعام مثل الحوت حتى نصل به إلى الانقراض. هذا هو السبب في أن الحكومات والمنظمات غير الحكومية تجتمع في مؤتمرات مهيبة لوضع القيود. تحديد الحصص للصيد. هذا هو السبب في أن اللوائح الحكومية تحدد بدقة مواصفات حجم فتحات شبكات الصيد، وهذا هو السبب في أن هناك دوريات من قوارب مسلحة تطوف بالبحار لتطارد الصيادين المخالفين الذين يستخدمون شباك الجر. نحن البشر، حتى في أيامنا الجميلة وعندما تنظم الشرطة مجتمعنا تنظيما صحيحا، فإننا نكون " مفترسين حكماء". وإذن – أو كما يبدو لبعض إيكولوجيين

معينين – أفلا ينبغى أن نتوقع أن بعض المفترسين البريين، مثل الذئاب أو الأسود تكون هي أيضا من المفترسين الحكماء ؟ كلا، ثم كلا، ثم كلا. والأمر جدير بأن يُفهم سببه؛ لأن هذه نقطة مهمة، نقطة ينبغى أن تكون أشجار الغابة هي وهذا الفصل كله قد هيأتنا لإدراكها.

التصميم المسبق – التصميم للمنظومة الإيكولوجية الذى يكون في القلب منه رفاه مجتمع الحيوانات البرية كله – يمكنه حقا إجراء الحسابات لسياسة مختارة مثلى، ينبغى مثـــلا أن تتخــذها الأسود على نحو مثالى. هكذا يكون على الأسود ألا تلتهم إلا حصة معينة من أى نوع واحد من الظباء. وعليها أن تستثنى الإناث الحوامل، ولا تلتهم صغار البالغين المفعمين بإمكانات التكاثر. وعليها أن تتجنب التهام أعضاء الأنواع النادرة، التى قد تكون عرضة لخطر الانقراض، وربما تكون لها فائدة في المستقبل، إذا تغيرت الظروف. ألن يكون رائعا لو أن كل الأسود في البلد التزمت لا غير بالمعايير والحصص المتفق عليها، والتى حُسب أمرها بدقة لتكون "مستدامة" ؟ ألن يكون هذا معقولا للغاية ؟ لو أنه وُجد فحسب!

حسن، سيكون هذا معقولا، وهو ما سيتم وصفه في التصميم المسبق، على الأقل لو كان رفاه المنظومة الإيكولوجية ككل في القلب منه. ولكن هذا ليس مما سيصفه الانتخاب الطبيعى (وسبب ذلك أساسا هو أن الانتخاب الطبيعى الذى تنقصه بصيرة النظر في العواقب، لا يستطيع مطلقا تقديم "وصفة") كما أن هذا ليس ما يحدث في الواقع ! هاكم السبب في ذلك، وهو مرة أخرى القصة نفسها كما تحدث للأشجار في الغابة. دعنا نتخيل أنه نتيجة لبعض دبلوماسية أسدية مميزة، تمكنت أغلبية الأسود بطريقة ما في إحدى المناطق من الاتفاق على تحديد عمليات صيدها لتكون في مستويات مستدامة. ولكن لنفترض الآن أنه قد ظهر جين طافر في هذه العشيرة، التى فيما عدا ذلك تعد عشيرة لها قيودها ومفعمة بروح

جماهيرية، وأن هذا الجين الطافر كان السبب في أن أحد الأسود قد خرج على الاتفاق وأخذ يستغل عشيرة الفرائس لأقصى حد، حتى مع احتمال خطر أن يدفع ذلك بنوع الفرائس إلى الانقراض. هل سيفرض الانتخاب الطبيعى أى عقوبة على هذا الجين الأنانى الثائر ؟ بكل أسف لن يحدث ذلك. سنجد أن ذرية الأسد الثائر، مالكى الجين الثائر، سوف تتفوق في التنافس وفى التكاثر على منافسيها في عشيرة الأسود. وسوف ينتشر الجين الثائر على مر أجيال قليلة خلال العشيرة ولن يتبقى أى شيء من الاتفاقية الأصلية السلمية. فذلك الحيوان الفرد(١) الذى ينال حصة الأسد سيمرر الجينات اللازمة لأداء ذلك.

إلا أن المتحمسين للتصميم المسبق سوف يحتجون بأنه عندما تسلك كل الأسود سلوكا أنانيا وتسرف في صيد نوع من الفرائس إلى حد انقراضه، فإن "كل فرد" سيسوء حاله، حتى الأسود المفردة التى تكون أكثر الصيادين نجاحا. وفى النهاية، إذا انقرضت كل الفرائس، ستنقرض أيضا كل عشيرة الأسود. سيصر نصير التصميم على أنه لا شك في أن الانتخاب الطبيعى سيخطو هنا داخلا ليوقف وقوع ذلك؟ مرة أخرى ياللخسارة، ومرة أخرى نقول كلا. المشكلة هي أن الانتخاب الطبيعى "لا يخطو داخلا"، الانتخاب الطبيعى لا ينظر إلى المستقبل(٢)،

---

(١) الحيوان الفرد الذكر أو الأنثى. حالة الأسود بالذات حالة معقدة نتيجة حقيقة أن الإناث هي التى تؤدى معظم الصيد، ولكن الذكور تنحو إلى الحصول على "تصيب الأسد " بأى حال. دعنا لا نتمسك "بالأسود" في مثلى الافتراضى. هيا نفكر في نوع عام من المتفرسين، ونتخيل أن الأفراد "الحكماء " هي التى تحجم عن الإسراف في الصيد، وأن الأفراد "الطائشة" تخرج على الاتفاق.

(٢) كثيرا ما يتأسس الكلام المرسل حول التكيف الداروينى على افتراض مضلل بأن التطور له بصيرة تنظر في العواقب (وهذا افتراض لا يتم إيضاحه، وبالتالى فإنه أكثر ضررا في النتائج المترتبة عليه). سيدنى بربنر، بطل القسم عن "سيانورهابديتيس" في الفصل الثامن، لديه سرعة=

والانتخاب الطبيعى لا يختار من بين المجموعات المتنافسة. لو أنه كان يفعل ذلك، ستكون هناك بعض فرصة لأن يكون في الإمكان تحبيذ الافتراس الحكيم. الانتخاب الطبيعى، كما أدرك داروين بوضوح أكثر كثيرا مما أدركه الكثيرين ممن أتوا بعده، يختار بين الأفراد المتنافسين في الداخل من نطاق إحدى العشائر. بل حتى لو كانت العشيرة كلها تغوص إلى الانقراض، وتُدفع لأسفل بواسطة التنافس الفردى، فسوف يظل الانتخاب الطبيعى يحبذ الأفراد الأكثر تنافسية، ويستمر ذلك حتى اللحظة التى يموت فيها آخر فرد. يمكن للانتخاب الطبيعى أن يدفع إحدى العشائر إلى الانقراض، بينما هو يحبذ باستمرار، حتى النهاية المريرة، تلك الجينات التنافسية التى تحدَّد مصيرها بأن تكون آخر من يناله الانقراض. التصميم المسبق الذى تخيلته فيه نوع معين من الاقتصاد، اقتصاد رفاه يحسب الإستراتيجية المثلى لعشيرة بأكملها، أو لمنظومة إيكولوجية بأسرها. إذا كان لابد وأن نصنع تشبيهات اقتصادية، فإنه ينبغى علينا أن نفكر بدلا من ذلك في "اليد الخفية" عند آدم سميث(*).

عدالة التطور

على أنى الآن أود أن أترك الاقتصاديات كليا. سوف نظل مع فكرة التخطيط والتصميم، ولكن مخططنا سيكون فيلسوفا أخلاقيا وليس عالم اقتصاد. لعلك إذا كنت تفكر تفكيرا مثاليا سترى أن التصميم المسبق الخيّر ربما يسعى إلى أن يقلل

= بديهة ساخرة تتوافق مع ألمعيته علميا. وقد سمعته ذات مرة وهو يسخر من خطأ فكرة "بصيرة التطور" بأن تخيل وجود نوع في العصر الكمبرى احتفظ في مستودعه الجينى ببروتين لا فائدة منه في هذا الوضع غير أنه "ربما سيدخل هكذا بسهولة في العصر الطباشيرى".

(*) آدم سميث (١٧٢٣ – ١٧٩٠) فيلسوف اجتماعى. وعالم اقتصاد أسكتلندى، يعتبر مؤسس علم الاقتصاد الكلاسيكى والمنظر الأول للرأسمالية الليبرالية. (المترجم)

المعاناة إلى أدنى حد. ليس في هذا ما يتعارض مع الرفاه الاقتصادى، إلا أن النظام الذى يتكون هكذا سيختلف في التفاصيل. ثم مرة أخرى فإنه لسوء الحظ ليس هذا ما يحدث في الطبيعة. لماذا ينبغى ذلك ؟ يحدث على نحو رهيب ولكنه حقيقى، أن المعاناة بين الحيوانات البرية تكون مروعة إلى حد بالغ بحيث يكون من الأفضل لذوى النفوس الحساسة ألا يتأملوا هذا الأمر. كان داروين يدرك عن أى شىء يتحدث عندما قال في خطاب لصديقة هوكر، "ياله من كتاب يمكن لتابع الشيطان أن يكتبه عما تصنعه الطبيعة من أعمال فيها خرق وتبديد وتخبط منحط وقسوة بشعة ". هذه العبارة التى لا تنسى عن "تابع الشيطان" قد أعطتنى عنوانا لأحد كتبى السابقة، وقد أوضحتها في كتاب آخر كما يلى:

> **"الطبيعة ليست رحيمة أو غير رحيمة. وهى ليست ضد المعاناة أو في صفها. الطبيعة لا تهتم بالمعاناة بطريقة أو أخرى إلا إذا كان ذلك يؤثر في بقاء دنا في الوجود. من السهل أن نتخيل مثلا أن أحد الجينات يضفى الهدوء على الغزلان عندما تكون على وشك المعاناة من عضة قاتلة. هل سيحبذ الانتخاب الطبيعى جينا من هذا النوع ؟ لن يفعل الانتخاب الطبيعى ذلك إلا إذا كان فعل تهدئة الغزال يحسَن من فرص هذا الجين في أن يمرر إلى أجيال المستقبل. من الصعب أن ندرك أى سبب في أن الأمر ينبغى أن يكون هكذا وبالتالى فإننا قد نخمن أن الغزلان تعانى من ألم وخوف فظيعين عندما تطارَد لتموت – وهذا ما يحدث لمعظمها في النهاية. المقدار الكلى للمعاناة في كل سنة في العالم الطبيعى يتجاوز كل فكر كيّس مهذب. أثناء الدقيقة التى تستغرقها**

كتابتى لهذه الجملة، يتم التهام آلاف الحيوانات وهى حية، بينما تجرى غيرها للنجاة بحياتها، وهى تئن خوفا، وبعضها الآخر يتم التهامه ببطء من داخله بواسطة طفيليات نهمة، وهناك آلاف من كل الصنوف تموت من الجوع، والعطش والمرض. يجب أن يكون الأمر هكذا. إذا حدث بأى حال ان كان هناك زمان من الوفرة، فإن هذه الحقيقة نفسها ستؤدى أوتوماتيكيا إلى تزايد في السكان حتى يتم استعادة الحالة الطبيعية من الجوع والبؤس".

لعل الطفيليات تسبب معاناة أكثر حتى من المفترسين، وعندما نفهم منطقها التطورى فإن هذا بدلا من أن يكون عاملا مخففا سوف يضيف إلى الإحساس باللاجدوى الذى نخبره عندما نتأمل الأمر. دائما ما أحس بانفجارى بالحنق ضد هذا الأمر في كل مرة أصاب فيها بنزلة برد (يتفق أنى حاليا أعانى من هذه النزلة). ربما يكون في هذا مجرد حالة بسيطة مـــن الضيق، ولكنها أيضـــاً شيء "لا معنى له" مطلقا! عندما تلتهمك أفعى أناكوندا فإنك تستطيع أن تشعر على الأقل بأنك قد أسهمت في رفاه أحد سادة الحياة. عندما يلتهمك أحد النمور، ربما تكون آخر فكرة تخطر على بالك هي، ما هي تلك اليد أو العين الخالدة التى استطاعت أن توقع بك أيها الكائن السمترى المفعم خوفا؟ (في أى أعماق غائرة أو أى سموات شاسعة تحترق نيران عبوتك ؟) أما أن تصاب بفيروس ! الفيروس فيه لا جدوى بلا معنى مكتوبة في صميم دناه – أو هو في الواقع رناه في حالة فيروس نزلة البرد، وإن كان المبدأ واحدا في دنا ورنا. الفيروس يوجد لغرض واحد هو أن يصنع المزيد من الفيروسات. حسن، يصدق الأمر نفسه أساسا على النمور والثعابين، ولكنه في حالتها "لا يبدو" بلا جدوى إلى هذا الحد. النمر والثعبان قد

يكونا أيضا ماكينات ناسخة تكرر D N A ولكنها جميلة، ورائعة، ومعقدة، وغالية التكلفة كماكينات لنسخ D N A. قد حدث أنى مَنحتُ نقودا للحفاظ على النمر، ولكن من ذا الذى يفكر في منح نقود للحفاظ على الاصابة بنزلة برد؟ إن ما ينال منى هو ما في الأمر من عدم الجدوى، بينما أنا أنفخ أنفى مرة أخرى وأشهق طلبا للهواء.

اللا جدوى ؟ أى سخف هذا. هذا سخف بشرى عاطفى. الانتخاب الطبيعى "كله" بلا جدوى. إنه يدور كله حول بقاء التعليمات الناسخة للذات من أجل نسخ الذات. إذا كان هناك مغاير من D N A يبقى موجودا عن طريق الأناكوندا عندما تبتلعنى، أو مغاير من D N A يبقى موجودا بأن يجعلنى أعطس، سيكون هذا إذن كل ما نحتاجه لتفسير الأمر. الفيروسات والنمور كلاهما مبنى على تعليمات مشفرة رسالتها النهائية هي مثل رسالة فيروس الكمبيوتر. "هيا ضاعف نسخى". في حالة فيروس نزلة البرد، يتم تنفيذ التعليمات على نحو مباشر تقريبا. D N A النمر هو أيضا برنامج من "هيا ضاعف نسخى"، ولكنه يحوى ما يكاد يكون استطرادا كبيرا إلى حد خيالى باعتباره جزءًا رئيسيًّا من التنفيذ الكفء لرسالته الأساسية. هذا الاستطراد هو نمر، نمر مكتمل بما له من أنياب، ومخالب، وعضلات للجرى، وغرائز الطراد والانقضاض. يقول D N A النمر "هيا ضاعف من نسخى" بالطريق غير المباشر بأن يُبنى نمر أولاً. وفى الوقت نفسه يقول دنا الظبى، "هيا ضاعف نسخى بالطريق غير المباشر ببناء ظبى أولاً، ظبى كامل بما له من سيقان طويلة وعضلات سريعة، ظبى كامل بماله من غرائز هيابة وأعضاء حس مشحوذة بدقة ومضبوطة على الإحساس بخطر النمور". المعاناة منتج جانبى للتطور بالانتخاب الطبيعى، نتيجة تترتب حتميا، ربما تصيبنا بالانزعاج في لحظاتنا الأكثر تعاطفا ولكنها ليست مما يُتوقع أن تزعج نمرا – حتى إذا أمكن القول بأن النمر يمكن أن ينزعج من أى شيء بأى حال – ومن المؤكد أنها ليست مما يمكن أن يُتوقع أن تزعج جينات النمر.

ينزعج رجال اللاهوت (Theologians) بشأن مشاكل المعاناة والشر، إلى حد أنهم قد ابتكروا مصطلح theodicy الذى يعنى حرفيا العدل الإلهى في محاولة لتفسير هذه المشاكل. علماء بيولوجيا التطور لا يرون هنا أى مشكلة؛ لأن الشر والمعاناة ليس لها أى اعتبار بطريقة أو أخرى، عند إجراء حساب التفاضل بالنسبة لبقاء الجين. ومع ذلك فنحن في حاجة بالفعل لأن ننظر نظرة اعتبار لمشكلة الألم. من أين يأتى الألم من وجهة النظر التطورية ؟

الألم، مثله مثل كل شيء آخر في الحياة هو فيما نفترض أداة داروينية وظيفتها أن تحسن من فرصة بقاء من يعانى الألم. بُنيت الأمخاخ على أساس الأحكام بالتجربة مثل، "إذا مارست الإحساس بالألم، توقف عما تفعله أيا ما يكون، ولا تفعله مرة أخرى ". يبقى بعد ذلك موضوع شيق لمناقشة السبب في أن الأمر يؤدى إلى الألم بهذه الطريقة اللعينة. من الوجهة النظرية، ربما تظن أن هناك ما يرادف راية حمراء صغيرة يمكن أن ترتفع بلا ألم في بعض مكان من المخ، كلما فعل الحيوان بعض فعل يؤذيه: ربما يكون مثلا التقاطه لجمرة ساخنة محمرة. سيكون هناك تحذير ملزم. "لا تفعل ذلك ثانية !" أو تغيير غير مؤلم في شكل شبكة أسلاك المخ بحيث يحدث واقعيا أن الحيوان "لا يفعل" ذلك ثانية، وسيبدو هذا نظريا كافيا في الظاهر. لماذا إذن يكون هذا الألم المبرح اللافح، ألم مبرح يمكن أن يستمر لأيام، ألم ربما لا تستطيع الذاكرة أن تتحرر منه أبدا ؟ ربما يكون هذا السؤال مما يتشابك وثيقا مع نسخة العدل الخاصة بنظرية التطور. لماذا هذا الألم البالغ ؟ ما هو الخطأ في أن توجد مجرد راية حمراء صغيرة ؟

ليس لدى إجابة حاسمة عن ذلك. إحدى الإمكانات المثيرة هي كالتالى. ماذا لو أن المخ يكون عرضة لوجود تعارض بين الرغبات والدوافع، بحيث يظل هناك بعض نوع من الصراع الداخلى فيما بينها ؟ نحن من الوجهة الذاتية نعرف جيدا

هذا الشعور. قد يكون لدينا مثلا صراع بين الجوع وبين الرغبة في أن نكون نحيفين. أو ربما يكون لدينا صراع بين الغضب والخوف. أو أنه يكون بين الرغبة الجنسية والتحفظ خوفا من الرفض، أو أن هناك الضمير يلح على الإخلاص. نحن نستطيع بالمعنى الحرفى للكلمة أن نشعر بالشد بين عوامل الحرب من داخلنا، عندما تدور المعارك بين رغباتنا المتصارعة. ونعود الآن ثانية إلى الألم واحتمال أن له وضعه المتفوق على "الراية الحمراء". وكما أن الرغبة في النحافة يمكن أن تتحكم في الجوع، فإن من الواضح بمثل ذلك تماما أنه يمكن التحكم في الرغبة في التهرب من الألم. ضحايا التعذيب قد يخضعوا في النهاية، ولكنهم غالبا ما يمرون بمرحلة من تحمل ألم له قدره بدلا من أن يحدث مثلا أن يخونوا رفاقهم أو بلادهم أو أيديولوجيتهم. وبمدى ما يمكن القول بأن الانتخاب الطبيعى "يريد" أى شيء، فإن الانتخاب الطبيعى يريد للأفراد ألا يضحوا بأنفسهم حبا لبلادهم، أو من أجل إحدى الأيديولوجيات أو أحد الأحزاب او إحدى المجموعات أو أحد الأنواع. الانتخاب الطبيعى يتخذ موقفا "ضد" تحكم الأفراد في أحاسيس الألم المنذرة. الانتخاب الطبيعى "يريد" لنا أن نبقى موجودين، أو على الأخص، يريد لنا أن نتكاثر، وأن نعلو بعيدا عن البلد، أو الأيديولوجيا أو مرادفاتهما غير الإنسانية. في نطاق ما يخص الانتخاب الطبيعى، لن تكون الرايات الحمراء الصغيرة مفضلة إلا إذا لم تكن أبدا مما يتم التحكم فيه.

والآن، فعلى الرغم من المصاعب الفلسفية، إلا أنى أعتقد أن المواقف التى يتم فيها التحكم في الألم لأسباب لا داروينية – أسباب من الولاء للبلاد، أو الأيديولوجية، إلخ – سيزداد تكررها لو كان لدينا في المخ "راية حمراء" بدلا من الألم الواقعى المكتمل غير المتحمل. دعنا نفترض أنه قد ظهرت طفرات جينية لا تستيطيع أن تشعر بتباريح الألم المعذبة وإنما تعتمد بدلا من ذلك على منظومة "الراية الحمراء" لتبقيها بعيدا عن أذى الجسم. سيكون من السهل جدا على هذه

الكائنات الطافرة أن تقاوم التعذيب، وسرعان ما ستجند للتجسس. إلا أنه سيكون من السهل أيضا سهولة بالغة تجنيد عملاء مجهزين لتحمل التعذيب، بحيث أن التعذيب سيتوقف ببساطة عن أن يستخدم كوسيلة لانتزاع المعلومات. ولكن هل سيحدث في دولة وحشية، أن هذه الكائنات الطافرة المتحررة من الألم براياتها الحمراء، سوف تبقى موجودة بأفضل من الأفراد المنافسة لها التى تحس أمخاخها بالألم على نحو جدى ؟ هل ستبقى هذه الطافرات موجودة لتمرر جينات الرايات الحمراء البديلة للألم ؟ حتى لو وضعنا جانبا الظروف الخاصة للتعذيب، والظروف الخاصة للولاء للأيديولوجيات، أعتقد أننا نستطيع أن نرى أن الإجابة قد تكون بالنفى. وفى وسعنا أن نتخيل مرادفات غير إنسانية لذلك.

من الأمور المثيرة للاهتمام أن هناك بعض أفراض شواذ لا يستطيعون الشعور بالألم، وهم عادة ينتهون إلى خاتمة سيئة، هناك حالة من "عدم الإحساس خلقيا بالألم مصحوبة بالجفاف " Congenital insensivity to pain with anhidrosis" ومخصورتها "CIPA، سيبا"، وهى حالة شذوذ وراثية نادرة، ناتجة عن أن المريض بنقصه وجود خلايا استقبال الألم في الجلد (مصحوبة أيضا بجفاف الجلد – لأنه لا يعرق). من المعترف به أن مرضى "سيبا" ليس لديهم منظومة "رايات حمراء" مبيتة داخلهم لتعوض عن انهيار منظومة الألم عندهم، ولكنك ستظن أنهم يستطيعون أن يتعلموا أن يكونوا متنبهين معرفيا بحاجتهم إلى تجنب إصابة أجسامهم بالأذى – منظومة "رايات حمراء " تتم بالتعليم. أيا كان الحال، فإن مرضى "سيبا" يتعرضون لأنواع شتى من العواقب الكريهة التى تترتب على عدم قدرتهم على الشعور بالألم، بما في ذلك إصابتهم بحروق، وكسور، وندوب متعددة، وإصابتهم بالعدوى، وبالتهاب للزائدة الدودية غير معالج، وخدوش في مقلة العين. وهناك ما هو غير متوقع لأكثر من ذلك، فهم يعانون من أذى شديد في مفاصلهم، لأنهم، بخــــلاف سائر الناس، لا يغيرون من وضع جسدهم عندما يظلون جالسين

أو راقدين في وضع واحد لزمن طويل. بعض هؤلاء المرضى يجهزون أنفسهم بساعات توقيت لتذكرهم بأن يكرروا تغيير وضعهم أثناء النهار.

حتى إذا أمكن صنع منظومة "رايات حمراء " فعالة في المخ، فإنه فيما يبدو لا يوجد سبب قوى لأن يحبذ الانتخاب الطبيعى إيجابيا هذه المنظومة أكثر من منظومة الألم الحقيقى لمجرد أن منظومة الرايات الحمراء تكون مكروهة بدرجة أقل. الانتخاب الطبيعى، بخلاف ما نفترضه من التصميم المسبق الخيّر، لا يكترث بشدة المعاناة – إلا بمدى ما تؤثر في البقاء والتكاثر. وكما أننا ينبغى أن نتوقع أن البقاء للأصلح هو ما يوجد في الأساس من عالم الطبيعة وليس التصميم المسبق، فإن بمثل ذلك تماما يبدو أن عالم الطبيعة لا يتخذ أى خطوات مطلقا للإقلال من المقدار الكلى للمعاناة. تأمل ستيفن جاى جولد هذه الأمور في مقال ممتاز عن "الطبيعة اللا أخلاقية ". تعلمت من هذا المقال أن اشمئزاز داروين المشهور من الدبور النمس، الذى استشهدت به في نهاية الفصل السابق كان أبعد من أن يكون أمرا فريدا بين المفكرين الفكتوريين.

تعودت دبابير النمس على أن تشل ضحيتها ولا تقتلها، قبل أن تضع بيضتها داخلها، وهذا إجراء فيه ما يعد بفقس يرقة تلتهم الضحية بقضمها من الداخل لتصبح جوفاء، هذا الدبابير بعادتها هذه هي وما في الطبيعة عموما من قسوة، كانت من الأمور الشاغلة الرئيسية للعدل الفيكتورى. من السهل أن ندرك سبب ذلك. أنثى الدبور تضع بيضها داخل الحشرة الفريسة الحية، مثل حشرات اليسروع، ولكنها لا تفعل ذلك إلا بعد أن تسعى بحرص بإبرة حمتها اللاسعة لتنال من كل عقدة عصبية في دورها، بطريقة تؤدى إلى شلل الفريسة، وإن كانت تبقى حية. ينبغى أن يُحتفظ بها حية لتوفر لحما طازجا ليرقة الدبور المتنامية وهى تتغذى من الداخل. واليرقة بدورها تحرص على أن تلتهم الأعضاء الداخلية بترتيب محكم. فهى تبدأ بالتهام جسميات الدهن والأعضاء الهضمية، تاركة الأعضاء الحيوية كالقلب والجهاز العصبى لتأكلها عند النهاية – فهى كما ترى ضرورية

للإبقاء على يرقة اليسروع حية. وكما تساءل داروين بحدة، أى نوع هذا من التصميم المسبق الخيّر يمكن له أن يحلم بتصميم "كهذا"؟ لست أعرف إن كانت يرقات اليسروع تستطيع أن تشعر بالألم. آمل من كل قلبى ألا تشعر به. إلا أن ما أعرفه بالفعل هو أن الانتخاب الطبيعى لن يتخذ بأى حال أى خطوات لإخماد ألمها، ما دام يمكن إنجاز المهمة باقتصاد أكثر بمجرد إحداث شلل في حركاتها.

يستشهد جولد بالمبجل ويليام بكلاند، وهو عالم جيولوجيا مرموق في القرن التاسع عشر، وقد وجد عزاء في الدورة المتفائلة التى أمكنه أن يضيفها على المعاناة التى تسببها اللاحمات:

"وبالتالى فإن توظيف الموت بواسطة العوامل الفعالة من اللاحمات، على أنه الإنهاء العادى لوجود الحيوان، يبدو هذا التوظيف في نتائجه النهائية على أنه نوع من توزيع للخير؛ إنه يؤدى إلى أن يطرح الكثير من حاصل الجمع المتراكم لألم الموت الشامل؛ إنه يختصر، ويوشك أن يبيد في كل مكان ما يحدث من التخليق الوحشى، وبؤس المرض، والجروح العارضة، والتحلل المتسكع؛ ويفرض قيدا مفيدا على الإفراط في تزايد الأعداد، بحيث أن الإمداد بالطعام يبقى محتفظا دائما بالنسبة الملائمة للطلب. نتيجة ذلك هي أن سطح الأرض وأعماق المياه تظـل مزدحمة دائما بما لا يحصى من الكائنات الحية، التى تمتد متع حياتها متسعة طول زمن بقاءها؛ وهكذا فإنها أثناء الزمن القصير الذى خصص لوجودها تنجز بسعادة الوظائف التى خلقت من أجلها".

حسن، أليس هذا رائعا لهم !

الفصل الثالث عشر

هناك عظمة فى هذه النظرة للحياة

كان إيرازموس جد داروين من أنصار مذهب التطور، وكان له نَظم علمى يثير إعجاب وردزورث(*) وكولريدج(**) (وعلىّ أن أقول هنا أن هذا فيه ما يثير الدهشة إلى حد ما)، أما تشارلز داروين فهو بخلاف جده لم يكن مشهورا كشاعر، ولكنه أنتج ما يماثل تصعيدا غنائيا في آخر فقرة من كتابه "عن أصل الأنواع".

"هكذا فإن أرفع هدف يمكننا تصوره كنتيجة لحرب الطبيعة، والمجاعة، والموت[1]، هو هدف إنتاج الحيوانات العليا، الذى يترتب على هذه الأمور مباشرة. هناك عظمة في هذه النظرة للحياة، بما لها من قدرات عديدة وقد نُفثت أصلا في أشكال قليلة أو في شكل واحد؛ وهكذا بينما يظل كوكبنا

(*) وردزورث، ويليام (١٧٧١ – ١٨٥٠) من كبار شعراء الرومانسية الإنجليز. (المترجم)

(**) كولريدج، صمويل تايلور (١٧٧٢ – ١٨٣٤) شاعر رومانسى إنجليزى ومنظر أدبى كبير. (المترجم)

(١) يخبرنا داروين انه قد استقى إلهامه الأصلى عن الانتخاب الطبيعى من توماس مالتوس، وربما تكون هذه العبارة بالذات لداروين قد حثت عليها الفقرة التالية التى تشبه سفر الرؤيا. والتى لفت نظرى لها صديقى مات ريدلى: "يبدو أن المجاعة هي آخر ملاذ للطبيعة وأكثرها إفزاعا. عدد السكان له قدرة تفوق كثيرا قدرة الأرض على إنتاج ما يكفى لبقاء الإنسان، بحيث أنه لا بد أن يحل الموت قبل الآوان ضيفا على الجنس البشرى بصورة أو أخرى. رذائل الجنس البشرى تعمل بنشاط وهى عوامل فعالة في الإقلال من السكان. إنها النذير في جيش الدمار العظيم، وكثيرا ما تنهى المهمة المفزعة بنفسها. ولكن حتى إذا فشلت في هذه الحرب المبيدة، فسوف تخطو قدما في مصفوفة مرعبة مواسم من الأمراض، والأوبئة، والأمراض المعدية والطاعون، كلها تحتاج الآلاف وعشرات الآلاف من ضحاياها. وإذا لم ينجح هذا كله نجاحا كاملا، تأتى متشامخة في المؤخرة مجاعات محتومة هائلة تؤدى بضربة واحدة جبارة إلى أن تسوى بين مستوى السكان والطعام في العالم ".

هذا يدور حسب قانون الجاذبيـــة الثـــابت، ظلت تتطـــور، ولا تزال تتطور، من بدايات بسيطة للغاية أشكال لا نهاية لها غاية في الجمال والروعة".

يحتشد في هذه الخاتمة المنمقة المشهورة الشيء الكثير، وأود أن أنهى كتابى بتناولها سطرا بعد سطر.

"كنتيجة لحرب الطبيعة

والمجاعة والموت "

أدرك داروين بتفكيره الرائق دائما، ما يوجد من مفارقة أخلاقية في القلب من نظريته العظيمة. وهو لم يتصنع في كلماته – وإنما طرح فكرة تخفف من حدة الأمر، وهى أن الطبيعة ليس لها مقاصد شريرة. الأمور تترتب ببساطة على "قوانين لها فعلها في كل ما حولنا "، وأنا أستشهد هنا بجملة أسبق في الفقرة نفسها. وقد ذكر داروين شيئا مشابها في نهاية الفصل السابع من كتاب "الأصل":

"قد لا يكون في هذا استنتاج منطقى ولكنى أتصور أنه سيكون من المقبول إلى حد أبعد كثيرا أن ننظر إلى غرائز من مثل ما يفعله طائر الوقواق الصغير السن عندما يلقى خارجا بأشقائه بالتبنى، – والنمل الذى يستخدم العبيد – ويرقات دبور النمس التى تتغذى من داخل الأجساد الحية لليسروع، هذه الغرائز كلها ننظر إليها ليس على أنها غرائز تم بوجه خاص منحها أو تخليقها، وإنما على أنها نتائج

صغيرة تترتب على قانون عام واحد، يؤدى إلى تقدم كل الكائنات الحية، أى أنه يؤدى بها إلى أن تتكاثر، وتتغاير، وتتيح للأقوى أن يعيش وللأضعف أن يموت".

سبق أن ذكرت ما كان من اشمئزاز داروين – اشمئزازا شاركه فيه معاصروه على مدى واسع – إزاء ما اعتادته أنثى دبور النمس من لدغ ضحيتها لتشلها ولكنها لا تقتلها، وبالتالى فإنها تبقى لحمها طازجا حتى تأكل يرقة الدبور الفريسة الحية وهى من داخلها. ولعل القارئ يتذكر أن داروين لم يستطع أن يقنع نفسه بوجود تصميم مسبق خيّر يؤدى إلى هذه العادة. أما عندما يقود الانتخاب الطبيعى المسيرة، فإن الأمور كلها تغدو واضحة، ومفهمومة، ومعقولة. لا يبالى الانتخاب الطبيعى أدنى مبالاة بأن يكون الأمر مريحا للمشاعر. ولماذا ينبغى أن يكون كذلك؟ المطلب الوحيد حتى يتم أن يحدث شيء في الطبيعة هو أن يكون نفس هذا الحدث قد ساعد في زمن الأسلاف على إبقاء الجينات التى تعززه. بقاء الجين موجودا فيه التفسير الكافى لوحشية الدبابير واللامبالاة الغليظة للطبيعة كلها: هذا تفسيـــر كاف – وتفسير مُرض لعقل البشر وإن لم يكن كذلك بالنسبة لمشاعر الشفقة لديهم.

نعم، هناك عظمة في هذه النظرة للحياة، بل هناك حتى عظمة فيما للطبيعة من لا مبالاة هادئة بالمعاناة التى تثابر بعناد لا يرحم على أن تأتى في أعقاب مبدأها المرشد، البقاء للأصلح. ربما يجفل رجال اللاهوت لما يظهر هنا من صدى لحيل مألوفة في العدالة المثالية، حيث يُنظر إلى المعاناة على أنها ترتبط ارتباطا حتميا بالإرادة الحرة. البيولوجيون من جانبهم سيجدون أن عبارة "بعناد لا يرحم" ليست مطلقا عبارة أقوى مما ينبغى عندما يتأملون الوظيفة البيولوجية للقدرة على المعاناة – ربما يكون ذلك حسب خطوط تأملاتى عن "الراية الحمراء" في الفصل

السابق. لو كانت الحيوانات لا تعانى، لكان هناك إذن عامل ما لا يعمل جاهدًا بما يكفى لمهمة بقاء الجين.

العلماء بشر، ولهم الحق مثل أى فرد آخر في أن يلعنوا القسوة وأن يشمئزوا من المعاناة. إلا أن العلماء الممتازون مثل داروين يدركون أنه لا بد من مواجهة الحقائق في العالم الواقعى مهما كانت منفرة. وبالإضافة لذلك، فإننا إذا كنا سنسمح بإدخال الاعتبارات الذاتية، فإن هناك لعنة كالسحر في المنطق الكئيب الذى ينتشر في الحياة كلها، بما في ذلك ما تفعله الدبابير إذ تتابع هدفها بأن تشل العقد العصبية بطول فريستها، وطيور الوقواق التى تقذف أشقاءها بالتبنى خارج العش ("يا قاتل عصفور السياج فوق غصنه")، والنمل مستخدم العبيد، ثم تلك اللامبالاة الأحادية التفكير – أو الأولى أنها بلا تفكير – التى تبديها الطفيليات كلها والمفترسون كلهم إزاء المعاناة. كان داروين يلتفت إلى الوراء مواسيا عندما ختم فصله عن الصراع للبقاء بهذه الكلمات:

"كل ما نستطيع أن نفعله، هو أن نُبقى في ذهننا على نحو ثابت أن كل كائن حى يناضل ليتزايد بنسبة هندسية؛ وأن كل كائن حى عند فترة ما من حياته، خلال أحد فصول السنة، أو خلال كل جيل أو خلال بعض الفترات، يكون عليه أن يناضل ليعيش، وأن يعانى من تلف عظيم. عندما نتأمل هذا النضال، ربما نواسى أنفسنا بالإيمان الكامل بأن حرب الطبيعة ليست متواصلة، وأنه ليس من خوف يُحس به[1]، وأن الموت عموما يكون عاجلا، وأن من يكون مفعما بالقوة، والصحة، والسعادة يبقى في الوجود ويتكاثر".

---

(١) كم أتمنى لو استطعت أن أصدق ذلك.

إطلاق النار على الرسول يعد من أحمق نقط الضعف البشرية، وهو في الأساس من سلوك شريحة لها قدرها من معارضى التطور كما ذكرت في المقدمة. "لو علّمت الأطفال أنهم حيوانات، سوف يسلكون كحيوانات ". حتى لو كان من الحقيقى أن التطور، أو تدريس التطور، يشجع انعدام الأخلاقيات، فإن هذا لا يتضمن أن نظرية التطور زائفة. من المذهل تماما أن الكثيرين من الناس لا يستطيعون استيعاب هذه النقطة المنطقية البسيطة. هذه المغالطة شائعة إلى حد بالغ حتى أن لها اسمها، "حجة مبنية على النتيجة" – (س) تكون حقيقية (أو كاذبة) بسبب مدى حبى (أو كرهى) للنتائج التى تترتب عليها.

"أرفع هدف يمكننا تصوره"

هل "إنتاج الحيوانات العليا" هو حقا "أرفع" هدف لنا القدرة على تصوره؟ "أرفع" هدف؟ وحقا؟ ألا توجد أهداف أكثر رفعة؟ الفن؟ الروحانية؟ "روميو وجولييت"؟ النسبية العامة؟ السمفونية الكورالية؟ محراب السيستين(*)؟ الحب؟

علينا أن نتذكر أن داروين مع كل تواضعه الشخصى كانت له طموحات رفيعة. وهو في رأيه الشامل عن العالم يرى أن كل ما يتعلق بالعقل البشرى، وكل عواطفنا ودعوانا الروحية، وكل الفنون والرياضيات، والفلسفة والموسيقى، وكل الإنجازات الفذة العقلية والروحانية، كلها هي نفسها منتجات للعملية نفسها التى أدت إلى الحيوانات العليا. لا يقتصر الأمر فحسب على أنه بدون الأمخاخ المتطورة

(*) محراب يتعبد فيه البابا في الفاتيكان، ومزين بصور وأيقونات رائعة لكبار الفنانين في عصر النهضة ومن أهمهم مايكل أنجلو الذى رسم صورة السقف. (المترجم)

سيستحيل وجود الروحانيات والموسيقى. النقطة المحددة بأكثر، هي أن الأمخاخ قد تم انتخابها الطبيعى لتزداد قدرة وقوة لأسباب منفعية، حتى انبثقت تلك الملكات العليا العقلية والروحية كنتاج جانبى لذلك، وازدهرت في البيئة الثقافية التى توفرها المعيشة الجماعية واللغة. النظرة الداروينية الشاملة للعالم لا تشوه الملكات البشرية العليا، ولا "تختزلها" إلى مستوى مهين. بل أنها لا تزعم حتى أنها تفسرها بنوع من المستويات التى تبدو مُرضية بطريقة خاصة، كأن تكون بالطريقة نفسها مثلا التى تفسر بها الداروينية محاكاة اليسروع للثعبان تفسيرا مُرضيا. ولكنها تزعم فعلا أنها قد جرفت بعيدا ذلك الغموض الذى لا يمكن اختراقه – أو لا يستحق حتى مجرد محاولة اختراقه – والذى لا بد وأنه لازم كل جهود زمن ما قبل الداروينية لفهم الحياة.

على أن داروين ليس في حاجة لأى دفاع منى، وسوف أتجاوز ذلك السؤال عما إذا كان إنتاج الحيوانات العليا هو أرفع هدف نستطيع تصوره، أو هو حتى مجرد هدف رفيع جدا. ماذا إذن عن محمول القضية؟ هل يحدث أن إنتاج الحيوانات العليا "يترتب مباشرة" على حرب الطبيعة، وعلى المجاعة، والموت؟ حسن، الإجابة هي نعم، هذا يحدث. فهو يترتب مباشرة على ذلك إذا فهمنا استدلال داروين، إلا أن أحدا لم يفهمه حتى انقضاء القرن التاسع عشر. ولا يزال الكثيرون لا يفهمونه، أو ربما هم يمانعون في فهمه. ليس من الصعب أن ندرك سبب ذلك. إذا فكرنا في الأمر، سنجد أن وجودنا نفسه هو وإمكان تفسيره في زمن ما بعد الداروينية، أمر يرشح لظهور حقيقة مذهلة لأقصى حد حتى أنها تدعو كل واحد منا إلى التأمل في حياتنا كلها دائما أبدا. سآتى سريعا إلى هذه النقطة.

أننى لأعجز عن تذكر عدد الخطابات المحنقة التى تلقيتها ممن قرأوا أحد كتبى السابقة، ليؤنبونى لأنى حسب ظنهم قد تعمدت إهمال عبارة بالغة الأهمية ذكرها داروين وهى أن الحياة "نفثت" بواسطة الخالق ". ألست هكذا أتعمد بابتهاج تشويه قصد داروين؟ ينسى كتاب هذه الخطابات المتحمسون أن كتاب داروين العظيم أعيد إصداره في ست طبعات. في الطبعة الأولى وردت الجملة كما كتبتها هنا. فيما يفترض قد يكون داروين قد انحنى أمام ضغط الرواق الدينى وأدخل عبارة "بواسطة الخالق" في الطبيعة الثانية وكل الطبعات التالية. ما لم يكن هناك سبب قوى جدا ضد ما أفعله، فإننى عندما استشهد بكتاب "عن أصل الأنواع"، استشهد دائما بالطبعة الأولى. سبب هذا في جزء منه هو أن نسختى من هذه الطبعة التاريخية هي إحدى أغلى مقتنياتى، وقد منحها لى تشارلز سيمونياى صديقى الذى يرعانى أيضا. إلا أن السبب أيضا هو أن هذه الطبعة الأولى لها أهمية تاريخية كبرى. إنها الطبعة التى أحدثت ضربة مدوية في شبكة النخبة الفكتورية ودفعت بعيدا رياح القرون الماضية. وبالإضافة لذلك، فإن الطبعات اللاحقة، وخاصة الطبعة السادسة، انقادت لما هو أكثر من مجرد الرأى العام. حاول داروين الاستجابة لشتى النقاد المثقفين، وإن كانوا مضللين، أولئك الذين انتقدوا الطبعة الأولى، وفى هذه المحاولة تراجع داروين، بل حتى عكس موقفه، في عدد من النقاط المهمة التى كانت بالفعل صحيحة في المقام الأول. وهكذا فإن عبارة "قد نفثت اصلا " لم يرد فيها "بواسطة الخالق " في الطبعة الأولى.

يبدو أن داروين قد ندم على هذه المحاولة لاسترضاء الفكر المتعصب دينيا. هكذا فإنه أرسل خطابا في ١٨٦٣ إلى صديقه عالم النبات جوزيف هوكر، قال فيه، "على أنى ندمت طويلا لإذعانى للرأى العام، واستخدامى لمصطلح من أسفار العهد القديم بمعنى الخلق، في حين أنى كنت في الحقيقة أعنى "ظهور" شيء ما عن

طريق عملية مجهولة بالكامل. "مصطلح أسفار العهد القديم" الذى يشير إليه داروين هنا هو "التكوين " أو الخلق. سياق ذلك، كما شرح فرنسيس داروين في طبعة ١٨٨٧ لخطابات والده، هو أنه كان يكتب ليشكر هوكر لأنه أعاره مقالا لعرض كتاب لكاربنتر، يتحدث فيه عارض الكتاب الذى لم يصرح باسمه عن "قوة خالقة... لم يتمكن داروين من التعبير عنها إلا بمصطلحات أسفار العهد القديم باعتبارها الشكل الأولى "الذى نفثت به الحياة أصلا". ينبغى الآن أن نستغنى حتى عن "الذى نفثت به أصلا". ما هو هذا الشىء الذى يفترض أنه نفث في ماذا؟ فيما يفترض فإن الإشارة المقصودة هي إلى بعض نوع من تنفس الحياة(١)، ولكن ماذا يمكن أن يعنى هذا؟ كلما دققنا النظر إلى الحد الفاصل بين الحياة واللاحياة يصبح التمييز بينهما أكثر مراوغة. الحياة، ذات الحيوية، كان يفترض أن بها بعض نوع من صفة نبض خافق حيوى، بعض جوهر حيوى - يبدو حتى أكثر غموضا عندما ينتهى في الفرنسية إلى مصطلح " élan vital، القوة الحيوية"(٢). يبدو هكذا أن الحياة قد صنعت من مادة حية خاصة، شراب سحرة مخمر يسمى "البروتوبلازم". هناك شخصية روائية عند كونان دويل اسمها "الأستاذ تشالنجر، الأستاذ المتحدى " هي حتى أكثر منافاة للعقل عن شخصية شرلوك هولمز، وقد اكتشف هذا الأستاذ أن الأرض حية، وكأنها نوع من قنفذ بحر مارد محارته هي القشرة التى نراها، ولبه يتكون من بروتوبلازم نقى. كان من المعتقد حتى منتصف القرن العشرين أن الحياة من حيث الكيف تتجاوز الفيزياء والكيمياء. لم يعد الأمر هكذا. الفارق بين

---

(١) التراث الدينى قد عرّف الحياة من زمن طويل بالتنفس. كلمة "الروح" تأتى من الكلمة اللاتينية "للتنفس". حسب سفر التكوين صنع الرب أولا آدم ثم أضرم فيه الحياة بأن نفخ (نفث) في أنفه. الكلمة العبرية "للروح" هي "رواح" أو "رواش" (قريبة من كلمة "الروح" في العربية)، وهى تعنى أيضا "النفس"، و"الريح" و"الشهيق".

(٢) سك هذا المصطلح في ١٩٠٧ الفيلسوف الفرنسى هنرى برجسون. ظللت دائما أقدر الاستنباط الساخر لجوليان هكسلى بأن قطارات السكك الحديدية لا بد أنها تدفع "بالقوة القطارية".

الحياة واللا حياة ليس أمرا يتعلق بالمادة وإنما هو أمر يتعلق "بالمعلومات". الأشياء الحية تحوى كميات هائلة من المعلومات. معظم هذه المعلومات مشفّر رقميا في دنا، كما أنه توجد أيضا كمية لها قدرها مشفرة بطرائق أخرى، كما سوف نرى سريعا.

بالنسبة لحالة D N A، نحن نفهم إلى حد كبير طريقة تنامى المحتوى المعلوماتى عبر الزمان الجيولوجى. أطلق داروين على هذه الطريقة اسم الانتخاب الطبيعى، ونحن نستطيع أن نحدده بدقة أكبر على أنه: البقاء اللاعشوائى للمعلومات التى تشفر للوصفات الجنينية لذلك البقاء. من الواضح بذاته أن من المتوقع أن هذه الوصفات للبقاء الخاص لها ستنحو إلى أن تظل باقية. الأمر الخاص فيما يتعلق بدنا هو أنه يظل باقيا في الوجود ليس بذاته المادية وإنما في شكل سلسلة لا نهائية من النسخ. تحدث أخطاء عارضة أثناء النسخ، وهذا هو السبب في أن المتغايرات الجديدة قد تظل باقية حتى بأفضل من سلفها، وبالتالى فإن قاعدة بيانات المعلومات التى تشفر لوصفات البقاء سوف تتحسن بمضى الزمن. ستظهر هذه التحسينات في شكل الأجساد الأفضل وغير ذلك من الوسائل والأجهزة اللازمة للمحافظة على المعلومات المشفرة وتمريرها. عمليا نجد أن الحفاظ على معلومات دنا وتمريرها يعنى طبيعيا بقاء الأجساد التى تحويه وتكاثرها. كانت أبحاث داروين نفسه تجرى على مستوى الأجساد، وبقائها موجودة، وتكاثرها. المعلومات المشفرة من داخلها كانت مضمنة في رأيه الشامل عن العالم، ولكنها لم تُجعل واضحة إلا في القرن العشرين.

سوف تغدو قاعدة البيانات الوراثية مستودعا للمعلومات حول بيئات الماضى، البيئات التى ظل الأسلاف موجودين فيها حتى مرروا الجينات التى ساعدتهم على البقاء في الوجود. وبمدى ما يصل إليه التشابه بين بيئة الحاضر والمستقبل وبين بيئة الماضى (وهى غالبا ما تتشابه)، فإن "كتاب الموتى" هذا عن

الوراثة سوف يثبت في النهاية أنه كتاب معلومات إرشادية يفيد للبقاء في الزمن الحالى والمستقبل. سيبقى مستودع هذه المعلومات كامنا عند أى لحظة واحدة داخل الأجساد الفردية، أما على المدى الطويل، حيث يكون التكاثر جنسيا وتتم إعادة توزيع D N A من جسد للآخر، فإن قاعدة بيانات تعليمات البقاء في الوجود ستكون في المستودع الجينى للنوع.

جينوم كل فرد واحد، في أى جيل واحد، سيكون عينة من قاعدة بيانات النوع. ستكون للأنواع المختلفة قواعد بيانات مختلفة وذلك بسبب عوالم أسلافها المختلفة. قاعدة البيانات في مستودع جينات الجِمال ستشفر لمعلومات حول الصحارى وطريقة البقاء في الوجود فيها. D N A في المستودعات الجينية للخلد سيحوى تعليمات وإشارات للبقاء في الوجود في الظلام، والتربة الرطبة، D N A في مستودعات جينات المفترسين سيحوى معلومات متزايدة حول الحيوانات الفرائس، وحيلها في المراوغة وطريقة التفوق في البراعة عليها. أما D N A في مستودعات جينات الفرائس فإنه يتوصل إلى أن يحوى معلومات حول الحيوانات المفترسة وطريقة مراوغتها والتفوق عليها في الجرى. D N A في كل المستودعات الجينية يحوى معلومات عن الطفيليات وطريقة مقاومة غزواتها الخبيثة.

المعلومات عن طريقة التعامل مع الحاضر من أجل البقاء في المستقبل هي بالضرورة معلومات تُجمع من الماضى. الطريقة الواضحة لتسجيل معلومات الماضى لتستخدم في المستقبل هي البقاء اللاعشوائى لـــ D N A في أجساد السلف، وهذا هو الطريق الذى يتم به بناء قاعدة بيانات D N A الأولية. على أن هناك ثلاث طرائق أخرى تتم بها أرشفة الماضى بطريقة يمكن بها استخدامه لتحسين فرص البقاء في المستقبل. هذه الطرائق الثلاث هي بالجهاز المناعى، والجهاز العصبى، والثقافة. يحدث في مصاحبة للأجنحة، والرئات وكل أدوات

البقاء الأخرى أن كل واحد من هذه النظم الثانوية لجمع المعلومات يتمثل في النهاية تمثلا مسبقا بواسطة النظام الأوّلى: الانتخاب الطبيعى D N A. نستطيع أن نسميها كلها معا بأنها "الذاكرات" الأربع.

الذاكرة الأولى هي مستودع D N A لتكنيكات بقاء السلف، وقد كتبت على لفافة البردى المتحركة التى نسميها المستودع الجينى للنوع. وكما أن قاعدة بيانات D N A الموروثة تسجل التفاصيل المتعاودة لبيئات السلف وطريقة البقاء معها، فبمثل ذلك تماما نجد أن جهاز المناعة، "الذاكرة الثانية" يفعل الشيء نفسه بالنسبة للأمراض والأضرار الأخرى التى تصيب الجسد أثناء زمن الحياة الخاص بالفرد. هذه القاعدة للبيانات عن الأمراض السالفة وطريقة البقاء إزاءها هي قاعدة فريدة خاصة لكل فرد وقد سجلت في مستودع ذخيرة من البروتينات التى نسميها بالأجسام المضادة – توجد عشيرة واحدة من الأجسام المضادة لكل جرثومة مرض (pathogen) (كائن دقيق مسبب للمرض)، وقد حيكت بدقة بواسطة "الخبرة" السابقة مع البروتينات التى تميز جرثومة المرض. أصابنى مرض الحصبة والجديرى مثل الكثيرين من الأطفال في جيلى. "يتذكر" جسمى هذه "الخبرة"، وقد تجسدت الذكريات في بروتينات الأجسام المضادة، مصاحبة لباقى قاعدة البيانات الشخصية الخاصة بى عن الغزاة الذين سبق التغلب عليهم. لحسن الحظ أنى لم أصب قط بشلل الأطفال، على أن علم الطب قد ابتكر ببراعة تكنيك اللقاحات الذى يزرع ذكريات كاذبة لأمراض لم يعان منها الجسم قط. لن أصاب أبدا بشلل الأطفال؛ لأن جسمى "يظن" أنه قد أصيب به في الماضى، وقد جُهزت قاعدة بيانات جهاز المناعة عندى بالأجسام المضادة الملائمة، وتم "خداعها" لتصنع هذه الأجسام المضادة بأن حُقن الجسم بنسخة غير مؤذية من الفيروس. مما يفتن اللب، ما بينته أبحاث شتى علماء الطب الحاصلين على جائزة نوبل، من أن قاعدة بيانات الجهاز المناعى قد بُنيت هي نفسها بواسطـــة عملية شبه داروينية من التغاير العشوائى والانتخاب اللا عشوائى.

إلا أن الانتخاب اللاعشوائى في هذه الحالة لا يكون اختيارا للأجسام من أجل قدرتها على البقاء، وإنما هو اختيار للبروتينات "داخل" الجسم من أجل قدرتها على أن تغلف البروتينات الغازية أو إبطال مفعولها بطرق أخرى.

الذاكرة الثالثة هي تلك التى نفكر فيها عادة عندما نستخدم كلمة الذاكرة: الذاكرة التى تقبع في الجهاز العصبى. تستخدم أمخاخنا ميكانزمات لم نفهمها للآن فهما كاملا، وذلك للاحتفاظ بمخزون للخبرات السابقة في موازاة "لذاكرة" الأجسام المضادة للأمراض السابقة و"ذاكرة" D N A لوفيات ونجاحات السلف (فهذه يمكننا أن نعتبرها ذاكرة D N A). الذاكرة الثالثة في أبسط أشكالها تعمل عن طريق عملية من التجربة والخطأ يمكن أن نعدها وكأنها مثل قياسى آخر للانتخاب الطبيعى. عندما يبحث حيوان عن الطعام فإنه قد "يحاول" القيام بأفعال شتى. هذه المرحلة من التجريب، وإن لم تكن عشوائية بالمعنى الجازم للكلمة إلا أنها مثل قياسى معقول للطفر الجينى. وجه التماثل بالقياس مع الانتخاب الطبيعى هو في "التعزيز"، أى نظام المكافآت (التعزيز الإيجابى) والعقوبات (أى التعزيز السلبى). إجراء فعل مثل تقليب أوراق الشجر الميتة (تجربة) ينتج عنه في النهاية العثور على يرقات خنافس ودويبة حمار قبان تختبئ تحت الأوراق (مكافأة). لدى الجهاز العصبى قاعدة تقول: أى فعل تجريبى تتبعه مكافأة، ينبغى أن يُكرَّر. أى فعل تجريبى يعقبه لا شيء، أو الأسوأ من ذلك أن يعقبه عقاب، كالألم مثلا، هو فعل ينبغى ألا يُكررَ".

إلا أن ذاكرة المخ تذهب إلى مدى أبعد كثيرا من هذه العملية شبه الداروينية التى تؤدى إلى أن تُبقى عشوائيا في مستودع الذخيرة على الأفعال التى تنال المكافأة، وتتخلص من الأفعال التى تنال العقاب. ذاكرة المخ (ولا حاجة بنا هنا لأن نضع أقواس التنصيص لأن ذاكرة المخ هي المعنى الأساسى للكلمة) تكون، على

الأقل في حالة الأمخاخ البشرية بالغة السعة والحيوية معا. فهى تحوى مشاهد تفصيلية، تتمثل في صور داخلية نتيجة تصورات لكل الحواس الخمس. فهى تحوى قوائم من الوجوه، والأماكن، والنغمات، والعادات الاجتماعية، والقواعد، والكلمات. وأنت تدركها جيدا من داخلك، وهكذا لا حاجة بى لأن أبذل الكلمات في استدعائها، فيما عدا أن أذكر ملاحظة عن حقيقة ملحوظة وهى أن معجم الكلمات التى في متناول يدى عند الكتابة، هي وقاموس الكلمات التى في متناول يدك عند القراءة، واللذين يتماثلان أو على الأقل يتطابقان إلى حد كبير، كلاهما يقبع في قاعدة البيانات العصبونية الشاسعة في مصاحبة للجهاز النحوى الذى يركب الكلمات في جمل ويفك شفرتها.

بالإضافة لذلك، فإن الذاكرة الثالثة، الذاكرة التى في المخ، قد أفرخت ذاكرة رابعة، قاعدة البيانات في مخى تحوى ما هو أكثر من مجرد سجل للأحداث والأحاسيس في حياتى الشخصية – على الرغم من أن هذا كان هو ما يحدها عند تطور المخ أصلا. يحتوى مخنا على ذكريات جماعية تورث من الأجيال السابقة عن غير الطريق الوراثى، فهى يتم تسليمها شفاها بالكلام، أو في الكتب، أو حاليا بالإنترنت. العالم الذى نعيش فيه أنا وأنت هو أغنى إلى حد كبير بسبب أولئك الذين رحلوا من قبلنا ونقشوا آثارهم فوق قاعدة بيانات الثقافة البشرية: نيوتن وماركونى، شكسبير وشتاينبك، باخ والخنافس، ستيفنسون وإخوان رايث، جنر وسولك كورى وأينشتين، فون نيومان وبرنرز– لى(*). ثم هناك بالطبع داروين.

الذاكرات الأربع كلها هي جزء أو مظاهر من بنية فوقية شاسعة لجهاز للبقاء تم بناؤه أصلا وأساسا بواسطة العملية الداروينية للبقاء اللاعشوائى لـــ D N A.

(*) أسماء لكبار العلماء والأدباء والموسيقيين والمخترعين في الحضارة الغربية. (المترجم)

"في أشكال قليلة أو شكل واحد"

كان داروين محقا في التحفظ في آرائه، أما الآن فنحن واثقون إلى حد كبير من أن كل الكائنات الحية فوق هذا الكوكب تنحدر كسلالة من سلف واحد. لدينا الدليل الذى رأيناه في الفصل العاشر، وهو أن الشفرة الوراثية شاملة، تتطابق كلها عبر الحيوانات، والنباتات، والفطريات، والبكتريا، والأركيات، والفيروسات. هناك قاموس من ٦٤ كلمة، وتتم بواسطته ترجمة كلمات D N A ذات الحروف الثلاثة إلى عشرين حمضا أمينيا، وعلامة ترقيم، واحدة تعنى "ابدأ القراءة هنا" أو " توقف عن القراءة هنا"، وهذا القاموس بكلماته الأربع والستين موجود هو نفسه أينما نظرت إلى ممالك الأحياء (فيما عدا استثناء واحدا أو اثنين هما أقل أهمية من أن يقوضا التعميم). إذا قلنا مثلا أنه قد تم اكتشاف ميكروبات غريبة شاذة اسمها "الطائشات"، "harumscaryotes"، لا تستخدم دنا مطلقا، أو لا تستخدم البروتينات، أو أنها تستخدم البروتينات ولكنها تحيكها معا من مجموعة من الأحماض الأمينية تختلف عن مجموعة الأحماض العشرين المألوفة، أو أنها تستخدم دنا ولكنه هنا ليس بشفرة ثلاثية، أو أنها شفرة ثلاثية ولكنها ليست بالقاموس نفسه ذى الكلمات الأربع والستين – لو أنه تم الإيفاء بأى من هذه الشروط، لربما أمكننا أن نطرح أن الحياة انبثقت أصولها مرتين: مرة من أجل "الطائشات" ومرة أخرى لسائر الحياة. على الرغم من كل ما كان داروين يعرفه – بل وما كان كل فرد يعرفه قبل اكتشاف D N A – إلا أنه ربما كان هناك بعض كائنات موجودة لها الخواص التى أضفيتها على "الطائشات"، وفى هذه الحالة فإن عبارته "في أشكال قليلة" يمكن تبريرها.

هل من الممكن أن أصلين اثنين مستقلين للحياة قد استطاعا معا أن يقعا على نفس شفرة الكلمات الأربع والستين؟ هذا من غير المرجح لأقصى حد. حتى يكون

ذلك معقولا، لا بد وأن يكون للشفرة الموجودة حاليا مزايا قوية تفوق الشفرات البديلة، ويجب عندها أن يوجد تصاعد تدريجى من أوجه التحسن يتجه لهذه الشفرة، سلم تدريجي يتسلقه الانتخاب الطبيعى. كلا هذين الشرطين هما من غير المحتمل. طرح فــرنسيس كــريك مبكرا أن الشفرة الوراثية هي "صدفة متجمدة" ما إن تستقر في مكانها حتى يصعب أو يستحيل تغييرها. الاستدلال على ذلك أمر يثير الاهتمام. أى طفرة في الشفرة الوراثية نفسها (ما يقابل الطفرات في الجينات التى تشفر لها) سيكون له في التو تأثير كارثى، ليس فحسب في مكان واحد، وإنما من خلال الكائن الحى كله. لو أن أى كلمة من كلمات القاموس الأربع والستين قد غيرت من معناها، بحيث تصل إلى أن تعيّن حمضا أمينيا مختلفا، فإن كل بروتين تقريبا في الجسم سوف يتغير في التو، وربما يكون ذلك في أماكن كثيرة على مدى طوله. الطفرة العادية ربما تؤدى مثلا إلى أن تطيل هونا من ساق، أو إلى أن يصبح أحد الأجنحة أقصر أو أن تزيد لون العين قتامة، ولكن التغير في الشفرة الوراثية يختلف عما سبق في أنه يغير كل شيء في التو في الجسم كله، وهذا يؤدى إلى ظهور كارثة. يطرح المنظرون المختلفون اقتراحات بارعة عن الطرائق الخاصة التى قد تتطور بها الشفرة الوراثية: طرائق قد يحدث فيها، كما يُستشهد به من إحدى أوراق بحثهم، أن "يذوب" ثلج الصدفة المتجمدة. مع ما في هذا كله من إثارة للاهتمام، إلا أنى أعتقد أن من المؤكد تماما أن كل كائن حى فُحصت شفرته الوراثية إنما هو كائن منحدر كسلالة من سلف مشترك واحد. مهما كان ما يبدو من إتقان أو اختلاف في البرامج العالية المستوى التى توضع في الأساس من أشكال الحياة المختلفة، فهى كلها في أساسها مكتوبة بلغة الماكينة نفسها.

لا يمكننا بالطبع أن نستبعد إمكان أن تكون هناك لغات ماكينة أخرى قد نشأت في كائنات أخرى هي الآن منقرضة – المرادف لميكروباتى الطائشة. أبدى عالم الفيزياء بول دافيز نقطة مهمة، وهى أننا بالفعل ننظر بدقة صارمة لنرى إن

كانت توجد أى ميكروبات طائشة (وهو بالطبع لم يستخدم هذه الكلمة) وأنها لم تنقرض ولكنها لا تزال تترصد في بعض حصن ناء في كوكبنا. ودافيز يقر بأن هذا ليس بالأمر المرجح جدا، ولكنه يحاج – بما يشبه نوعا حكاية الرجل الذى أخذ يبحث عن مفاتيحه تحت مصباح في الشارع بدلا من أن يبحث عنها حيث سقطت. فيقول دافيز أن من الأسهل والأرخص كثيرا أن نبحث هنا الأمر بأحكام فوق كوكبنا بدلا من أن نسافر لكواكب أخرى لنبحث هناك. في الوقت نفسه، لن أبالى عندما أسجل توقعاتى الشخصية بأن الأستاذ دافيز لن يجد أى شيء، وأن كل أشكال الحياة الموجودة فوق هذا الكوكب تستخدم شفرة الماكينة نفسها. وكلها تتحدر كسلالة من سلف واحد.

"بينما كوكبنا هذا يظل يدور حسب

قانون الجاذبية الثابت "

ظللنا كبشر متنبهين للدورات التى تحكم حياتنا وذلك قبل أن نفهمها بزمن طويل. أوضح هذه الدورات هي دورة النهار/الليل. الأجرام التى تسبح في الفضاء، أو التى تدور حول أجرام أخرى حسب قانون الجاذبية، يكون لديها ميل طبيعى لأن تلف حول محورها الخاص بها. هناك استثناءات لذلك ولكن كوكبنا ليس أحد هذه الاستثناءات. فترة دوران كوكبنا هي الآن أربع وعشرين ساعة (كان كوكبنا فيما مضى يلف بسرعة أكبر) ونحن بالطبع نخبر هذا الدوران عندما يأتى النهار ثم يتبعه الليل.

لما كنا نعيش فوق جرم كبير نسبيا، فإننا ننظر للجاذبية أساسا كقوة تجذب كل شيء تجاه مركز هذا الجرم، وهذا ما نخبره كاتجاه "لأسفل". ولكن الجاذبية كما

فهمها نيوتن لأول مرة لها تأثير شامل، وهو أنها تُبقى الأجرام في الكون كله في مدار شبه دائم حول أجرام أخرى. نحن نخبر هذا في الدورة السنوية للفصول أثناء دوران كوكبنا حول الشمس[١]. لما كان كوكبنا يلف على نفسه حول محور مائل بالنسبة لمحور الدوران حول الشمس، فإننا نخبر بسبب ذلك نهارا أطول وليلا أقصر أثناء نصف السنة التى يكون فيها محور نصف الكرة الذى يتفق أننا نعيش عليه مائلا تجاه الشمس، وهى الفترة التى تصل لذروتها في الصيف. نحن أيضا نخبر نهارا أقصر وليالى أطول أثناء النصف الآخر من السنة، وهى الفترة التى نسميها عند ذروتها بالشتاء. أثناء الشتاء في نصف كرتنا، نجد أن أشعة الشمس عندما تسقط علينا، إن كانت ستفعل ذلك بأى حال، فإنها تفعله بزاوية أقل غورا. هذه الزاوية المائلة تنشر أشعة شمس شتوية هي بالمقارنة بما تغطيه الأشعة المماثلة في الصيف، أقل كثافة وتغطى مساحة أوسع. عندما يصل للطرف المتلقى عدد فوتونات أقل بالنسبة لكل بوصة مربعة فإنه يحس بزيادة في البرودة. الفوتونات الأقل بالنسبة لورقة الشجر الخضراء تعنى تمثيلا ضوئيا أقل. النهار الأقصر والليل الأطول لهما التأثير نفسه. حياتنا في الشتاء والصيف، وفى النهار والليل، محكمة بدورات هي تماما مثلما قال داروين – ومثلما قال سفر التكوين

---

(١) يتملكنى إحساس بذهول مرعب عندما أعود إلى استطلاع الرأى الموثق في الملحق (في نهاية الجزء الأول)، فأحس وكأننى أخمش موضع حكة أو أضغط على سن مؤلم عندما يطرح هذا الاستطلاع أن ١٩% من الأفراد البريطانيين لا يعرفون ما تكونه السنة، ويعتقدون أن الأرض تدور حول الشمس مرة في كل شهر. بل حتى بين من يفهمون ما تكونه السنة، هناك نسبة مئوية أكبر لا يفهم أفرادها السبب في الفصول، مفترضين بتعصب عنيف فيه شوفينية لنصف الكرة الشمالى، أننا نكون على أقصى قرب للشمس في يونيو وعلى أقصى بعد منها في ديسمبر.

قبله: "ما دامت الأرض باقية، لن يتوقف أوان البذور والحصاد، والبرد والحر، والصيف والشتاء، والنهار والليل ".

الجاذبية وسيط لدورات أخرى لها أيضا علاقة مهمة بالحياة، وإن كانت هذه الدورات أقل وضوحا. الأرض تختلف عن الكواكب الأخرى التى لديها أقمار تابعة كثيرة، غالبا ما تكون صغيرة، أما الأرض فيتفق أن لديها تابعا واحدا كبيرا، نسميه القمر. القمر كبير بما يكفى لأن يمارس تأثيرا جذبيًا له قدره ناتج عنه هو ذاته. نحن نخبر هذا أساسا في دروة المد والجزر: ليس فقط في الدورات السريعة نسبيا التى تأتى كمد وجزر في كل يوم، وإنما أيضا في الدورات الشهرية الأبطأ في الربيع وعند المحاق، والتى تنتج عن التفاعل بين تأثير الشمس الجذبىّ وتأثير القمر في دورانه الشهرى. هذه الدورات من المد والجزر لها أهمية خاصة للكائنات البحرية والساحلية، وكثيرا ما تساءل الناس على نحو معقول عما إذا كان هناك ضرب من ذاكرة نوعية "species" لأسلافنا البحرية لا تزال باقية في دوراتنا التكاثرية الشهرية. قد يكون هذا أمرا بعيد الاحتمال، إلا أن هناك هذا النوع من التأمل المثير عندما نفكر في الطريقة التى ستختلف بها حياتنا لو لم يكن لدينا قمر يدور حولنا. بل هناك حتى من يطرح، ما أرى مرة أخرى أنه طرح معقول، أن الحياة بدون القمر تكون مستحيلة.

ماذا لو أن كوكبنا لم يكن يلف حول محوره؟ لو أن الأرض أبقت أحد وجهيها وهو يتجه دائما إلى الشمس، كما يفعل القمر تجاهنا، فإن نصف الأرض الذى له نهار دائم سيكون جحيما حارقا، في حين أن النصف الذى له ليل دائم سيكون باردا بما لا يمكن تحمله. هل يمكن أن تبقى الحياة موجودة في المنطقة الخلفية فيما بينهما حيث ضوء الشفق، أو هل ربما ستوجد الحياة مدفونة عميقا في الأرض؟ أنا أشك في أن تنشأ الحياة أصلا في ظروف غير مواتية كهذه، ولكن لو

أن الأرض سيقل تدريجيا لفها على محورها حتى تتوقف، سيكون هناك هكذا وقتا كافيا لأن يحدث تكيف، وليس من غير المعقول أن تنجح كائنات في الوجود، تكون على الأقل بعض نوع من البكتريا.

ماذا لو أن الأرض كانت تلف علـــى نفسها ولكـــن حول محور غير مائل؟ لا أظـــن أن هـــذا سيجعل، وجود الحياة أمرا مستبعدا. لن تكون هناك دورة صيف /شتاء. ستكون ظروف فصل الصيف والشتاء دالة على خط العرض والارتفاع وليس على الزمن. سيكون الشتاء فصلا دائما تخبره الكائنات التى تعيش على مقربة لأى من القطبين، أو عاليا في الجبال. لست أرى سببا لأن يجعل ذلك وجود الحياة أمرا مستبعدا، إلا أن الحياة من غير فصول ستكون أقل إثارة للاهتمام. لن يكون هناك حافز للهجرة، أو للتزاوج عند وقت معين من السنة بدلا من أى وقت آخر، أو لتساقط أوراق الشجر، أو لطرح الريش أو الإهاب، أو للبيات الشتوى.

أما لو كان الكوكب لا يدور مطلقا حول نجم، فإن الحياة ستكون مستحيلة بالكامل. البديل الوحيد للدوران حول نجم هو الاندفاع خلال الفراغ – المظلم، في حرارة تقرب من الصفر المطلق، ويكون الكوكب وحيدا وبعيدا عن مصدر الطاقة الذى يمكّن الحياة من أن تنساب في قطرات لأعلى التيار، ويكون ذلك مؤقتا وموضعيا، ضد سيل الديناميكا الحرارية الجارف. عبارة داروين "يظل يدور حسب قانون الجاذبية الثابت" هي أكثر من مجرد وسيلة شاعرية للتعبير عن مرور وقت يمتد بتواصل لا ينقطع على نحو لا يمكن تخيله.

الطريقة الوحيدة لأن يستطيع أحد الأجرام أن يظل بعيدا بمسافة ثابتة نسبيا عن مصدر للطاقة هي أن يكون في مدار حول أحد النجوم. هناك في الحيز المجاور لأى نجم – وشمسنا مثل نموذجى لذلك – منطقة محددة مغمورة بالحرارة

والضوء، وفيها يكون تطور الحياة أمرا ممكنا. مع التحرك في الفضاء بعيدا عن النجم، تتضاءل سريعا هذه المنطقة الصالحة للإيواء، ويكون ذلك حسب قانون التربيع العكسى الشهير. يعنى هذا أن الضوء والحرارة عندما يتناقصان لا يكون ذلك في تناسب مباشر مع مسافة البعد عن النجم، وإنما يتناسب مع مربع هذه المسافة. من السهل إدراك السبب في أن الأمر لا بد وأن يكون هكذا. دعنا نتخيل كرات متحدة المركز يتزايد نصف قطرها ويكون مركزها عند أحد النجوم. الطاقة التى تشع للخارج من النجم سوف تسقط فوق الداخل من إحدى الدوائر و"تتشارك" فيها بالتساوى كل بوصة مربعة من المساحة الداخلية للكرة. مساحة سطح الكرة تتناسب مع مربع نصف القطر كما يعرف أى تلميذ[1]. وهكذا إذا كانت الكرة (أ) تبعد عن النجم بضعف مسافة بعد الكرة (ب)، فإن العدد نفسه من الفوتونات لا بد وأن يتم "التشارك" فيه عبر مساحة أكبر بأربعة أمثال. هذا هو السبب في أن عطارد والزهرة، الكوكبين عند أقصى داخل منظومتنا الشمسية، تكون حرارتهما حارقة، في حين أن الكواكب الخارجية، مثل نبتوت ويورانوس، تكون باردة ومظلمة، وإن لم تكن في مثل برودة وظلام الفضاء العميق.

ينص القانون الثانى للديناميكا الحرارية على أنه وإن كانت الطاقة لا يمكن أن تُستحدث ولا أن تفنى، إلا أنها يمكنها أن تصبح – بل يجب في المنظومة المغلقة أن تصبح – أقل قدرة على أداء الشغل المفيد: وهذا هو ما يعنيه القول بأن "الأنتروبيا" تتزايد. يتضمن "الشغل" أمورا مثل ضخ الماء لأعلى – أو ما يرادف ذلك كيميائيا، وهو استخلاص الكربون من ثانى أكسيد الكربون ثم استخدامه في أنسجة النبات. كما سبق إيضاحه في الفصل الثانى عشر، لا يمكن التوصل لهذين الإنجازين الفذين إلا إذا غُذيت المنظومة بطاقة تدخلها، كأن تكون مثلا طاقة

---

(١) كما يعرف أى تلميذ ويستطيع إثباته بالهندسة الإقليدية.

كهربائية لدفع مضخة للمياه، أو طاقة شمسية لدفع عملية تركيب السكر والنشا في نبات أخضر. ما إن يتم ضخ الماء إلى قمة التل، فإنه عندها سينحو إلى أن ينساب أسفل التل، ويمكن استخدام بعض طاقة تدفقه لأسفل لتدفع ساقية مياه، تستطيع هكذا أن تولد الكهرباء، التى تستطيع بدورها أن تدفع محركا كهربائيا لأن يضخ بعض الماء ثانية لأعلى التل: ولكنه يدفع فحسب بعضا من الماء ! سوف يُفقد دائما بعض من الطاقة – ولكنها لا تفنى قط. هكذا فإن من المستحيل وجود ماكينات حركة مستمرة لا تنقطع (وهذه عبارة لا نستطيع أن نظل نقولها على نحو دوجماتيكى لأكثر مما ينبغى).

يحدث في كيمياء الحياة أن يُستخلص الكربون من الهواء بواسطة تفاعلات كيميائية في النباتات مدفوعة بالشمس تجاه "أعلى التل". وهذا الكربون يمكن حرقة في النباتات لإطلاق بعض من الطاقة. نحن نستطيع أن نحرق الكربون بالمعنى الحرفى للكلمة وهو في شكل فحم، ويمكنك أن تفكر فيه هكذا على أنه طاقة شمسية مختزنة؛ لأنه قد تم وضعه هناك بواسطة الألواح الشمسية لنباتات ماتت من زمن طويل في العصر الكربوناتى وغيره من الأزمنة السابقة. أو أن الطاقة قد تنطلق بطريقة محكومة بأكثر مما في الاحتراق الفعلى. مركبات الكربون المصنوعة بالشمس "تحترق ببطء" داخل الخلايا الحية، سواء خلايا النباتات أو الحيوانات التى تأكل النباتات، أو خلايا الحيوانات التى تأكل الحيوانات التى تأكل النباتات (إلخ.). بدلا من أن تتفجر تلك المركبات في لهب بالمعنى الحرفى للكلمة، فإنها تعطى طاقتها وهى تقطر منسابة برقة بحيث يمكن استخدامها لتعمل بطريقة محكومة لتدفع "لأعلى" بالتفاعلات الكيميائية. من المحتم أن بعضا من هذه الطاقة سيُفقد كحرارة – وإلا فإنه لو لم يحدث هذا لأصبح لدينا ماكينة حركة دائمة، وهذا أمر مستحيل (ولا داعى لأن نردد ذلك كثيرا).

كل طاقة الكون تقريبا يحدث لها أن تتحدر باطراد من أشكال قادرة على أداء الشغل إلى أشكال غير قادرة على أدائه. هناك تسوية للمستويات في اتجاه فيه استقرار، وتمازج سوف يستمران حتى يحدث أن يستقر الكون كله في النهاية في حالة من "حرارة الموت" المتسقة، حالة بلا أحداث (بالمعنى الحرفى للكلمة). إلا أنه أثناء اندفاع الكون منحدرا لأسفل تجاه حالة حرارة الموت المحتومة، يكون هناك مجال لأن تقوم كميات صغيرة من الطاقة بدفع منظومات صغيرة محلية في الاتجاه المضاد. تُرفع مياه البحر إلى السماء كسحب، لا تلبث لاحقا أن تسقط مياهها فوق قمم الجبال، لتتحدر منها لأسفل في جداول وأنهار، تستطيع أن تدفع سواقى المياه أو محطات القوى الكهربائية. الطاقة التى ترفع المياه (والتى بالتالى تدفع التوربينات في محطات القوى) تأتى من الشمس. ليس في هذا انتهاك للقانون الثانى؛ لأن هناك تغذية مستمرة بالطاقة الآتية من الشمس. تفعل طاقة الشمس شيئا مشابها لذلك في أوراق النبات الخضراء، فتدفع التفاعلات الكيميائية محليا "لأعلى" لتصنع السكر والنشا والسليولوز وأنسجة النبات. يموت النبات في النهاية، أو أنه يؤكل أولاً بواسطة الحيوانات. تكون هناك فرصة لطاقة الشمس المحتبسة لأن تنساب برقة خلال تسلسل لمنحدرات عديدة، وخلال سلسلة طعام طويلة معقدة تصل إلى ذروتها في التعطن البكتيرى أو الفطرى للنباتات أو الحيوانات التى تطيل من سلسلة الطعام. أو أن هذه الطاقة قد يُحتجز بعضها تحت الأرض، ويكون ذلك أولاً في شكل حث(*) ثم بعدها في شكل فحم. إلا أن النزعة العامة للاتجاه لحالة حرارة الموت النهائية لا تنعكس أبدا. يحدث في كل حلقة من سلسلة الطعام، ومن خلال كل قطرة تنساب لأسفل سلسلة المنحدرات داخل كل خلية، أن بعضا من الطاقة ينحدر إلى حالة من عدم الفائدة. ماكينات الحركة الدائمة أمر... حسن، يكفى

(*) الحث نسيج نباتى نصف متفحم يتكون بتحلل النبات جزئيا بالماء. (المترجم)

ما سبق تكرار قوله، ولكنى "لن" أعتذر عن الاستشهاد بالمقولة الرائعة للسير أرثر إدينجتون(*) عن هذا الموضوع، والتى استشهدت بها مرة على الأقل في أحد كتبى السابقة:

"إذا أشار عليك أحدهم بأن نظريتك المفضلة عن الكون لا تتفق مع معادلات ماكسويل – فإن هذا يسىء بأكثر إلى معادلات ماكسويل. إذا وُجد أن هناك ملاحظات تناقض هذه المعادلات – حسن، فإن هؤلاء التجريبيين يحدث أحيانا أنهم لا يتقنون بالفعل ما يصنعون. أما إذا وُجد أن نظريتك تتعارض مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية، فلن أستطيع أن أبث فيك أى أمل؛ ليس ما يمكن فعله إزاء ذلك إلا الانهيار إلى "عمق الذل ".

عندما يقول التكوينيون، كما يقولون كثيرا بالفعل، أن نظرية التطور تتناقض مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية، فإنهم بذلك لا يقولون لنا شيئا أكثر من أنهم لا يفهمون القانون الثانى (نحن نعرف من قبل أنهم لا يفهمون التطور). ليس هناك أى تناقض هنا، وذلك بسبب الشمس !

المنظومة كلها، سواء كنا نتحدث عن الحياة أو عن المياه التى ترتفع إلى السحب لتسقط ثانية، تعتمد في النهاية على الانسياب المطرد للطاقة من الشمس. طاقة الشمس لا تخالف أبدا قوانين الفيزياء والكيمياء – وهى بكل تأكيد لا تخالف أبدا القانون الثانى – وهى أثناء ذلك تمد الحياة بالقوة اللازمة لمداهنة ومط قوانين

(*) سير أرثر ستانلى إدينجتون (١٨٨٢ – ١٩٤٤) عالم بريطانى مشهور في الفيزياء الفلكية. (المترجم)

الفيزياء والكيمياء لتطوير منجزات فذة هائلة فيها تعقد، وتنوع، وجمال، وتوهم خارق بأن هناك إحصائيا عدم احتمال وتصميم عن قصد. يفرض هذا التوهم نفسه بقوة لدرجة أنه خدع أعظم عقولنا طيلة قرون، حتى أتى تشارلز داروين مندفعا إلى مسرح الأحداث. الانتخاب الطبيعى مضخة لكل ما هو غير محتمل: عملية تولد ما هو غير محتمل إحصائيا. وهو على نحو منهجى يضع يده على تلك الأقلية من التغيرات العشوائية التى فيها ما يتطلبه البقاء في الوجود، ويراكمها خطوة فخطوة بالغة الصغر عبر آماد زمنية لا يمكن تخيلها، حتى يتم في النهاية للتطور أن يتسلق جبال غير المحتمل والتنوع، ويصل إلى قمم يبدو أن ارتفـاعها ومداها لا يعرفان أى حدود، قمم الجبل المجازى الذى أسميته "جبل غير المحتمل". مضخة الانتخاب الطبيعى لغير المحتمل، التى تدفع التعقد الحى لأعلى "جبل غير المحتمل"، هي نوع من مرادف إحصائى لطاقة الشمس التى ترفع الماء لقمة الجبل التقليدى(١). الحياة لا تطور تعقدا عظيما إلا لأن الانتخاب الطبيعى يدفعها محليا بعيدا عما هو محتمل إحصائيا لتتجه إلى ما هو غير محتمل. وهذا لا يكون ممكنا إلا بسبب الإمداد بالطاقة الشمسية إمدادا لا يتوقف.

"من بداية بسيطة للغاية"

نحن نعرف الشيء الكثير عن طريقة عمل التطور منذ بدايته الأولى، وما نعرفه أكثر كثيرا مما عرفه داروين. ولكن ما نعرفه لا يزيد عن داروين إلا قليلا فيما يتعلق بالطريقة التى بدأ بها التطور في المقام الأول. يدور هذا الكتاب حول

---

(١) عندما أنشأ كلود شانون مقياسه "المعلوماتى" الذى يشكل هو نفسه مقياسا لعدم الاحتمال إحصائيا، لم يكن من باب المصادفة أن وقع شانون عندها على المعادلة الرياضية نفسها التى أنشأها لودنج بولتزمان عن الإنتروبيا في القرن السابق.

الأدلة، وليس لدينا أدلة بشأن ذلك الحدث الخطير الذى بدأ به التطور فوق هذا الكوكب. هذا حدث يمكن أن يكون نادرا ندرة فائقة. حدث ليس له أن يقع إلا مرة واحدة، وهو في حدود ما نعرفه لم يقع في كوكبنا إلا مرة واحدة بالفعل. بل إن من الممكن حتى أنه قد وقع مرة واحدة فقط في الكون كله، وإن كنت أشك في ذلك. ثمة شيء واحد يمكننا أن نقوله، على أساس من محض المنطق وليس على أساس من الأدلة، وهو أن داروين كان معقولا عندما قال أنه "من بداية بسيطة للغاية ". عكس البسيط هو ما يكون غير محتمل إحصائيا. الأشياء لا تثب تلقائيا إلى الوجود: هذا هو ما "يعنيه" غير المحتمل إحصائيا. يجب أن تكون البداية بسيطة، كما أن التطور بالانتخاب الطبيعى لا يزال هو العملية الوحيدة التى نعرفها حيث يمكن للبدايات البسيطة أن تؤدى إلى نتائج معقدة.

لم يناقش داروين طريقة بدء التطور في كتابه "عن أصل الأنواع". كان داروين يعتقد أن هذه المشكلة تتجاوز العلم في زمنه. يمضى داروين في خطابه إلى هوكر الذى استشهدت به فيما سبق فيقول، "إنه لمجرد هراء أن نفكر حاليا في أصل الحياة؛ يمكن للمرء عندها أن يفكر بمثل ذلك في أصل المادة". لم يستبعد داروين إمكان أن يتم في النهاية حل المشكلة (الحقيقة أن مشكلة أصل المادة قد تم حلها إلى حد كبير) ولكن هذا سيكون فقط في المستقبل البعيد: "سيكون هذا في بعض وقت يسبق رؤيتنا ' للبروتوبلازم اللزج، إلخ "وهو يولِّد حيوانا جديدا".

أدخل فرنسيس داروين هامشا عند هذه النقطة في طبعته لخطابات والده لتخبرنا بأنه:

> **"كتب أبى عن الموضوع نفسه في ١٨٧١: وكثيرا ما يقال أن كل الظروف اللازمة لأول إنتاج لكائن حى موجودة الآن، إن كان يمكن بأى حال أن توجد. ولكن "لو" كنا (وواها! يالها من "لو" كبيرة!) نستطيع أن نتصور أن هناك**

بعض بركة صغيرة دافئة، يوجد فيها كل ما يلزم من الأمونيا والأملاح الفوسفورية، والضوء، والحرارة، والكهرباء، إلخ، وأنه قد تكونّ كيميائيا في هذه البركة مركب بروتينى جاهز لأن يخضع لتغيرات أكثر تعقيدا، فإن هذه المادة في وقتنا الحالى سيتم في التو التهامها أو امتصاصها، وما كان الحال ليكون هكذا قبل تكوين الكائنات الحية".

تشارلز داروين كان هنا يؤدى أمرين هما بالأحرى متميزان. فهو من ناحية يطرح تخمينه الوحيد عن الطريقة التى ربما نشأت بها الحياة أصلا (الفقرة الشهيرة عن "البركة الصغيرة الدافئة"). وهو من الجانب الآخر يحرر العِلم وقتذاك من وهم الأمل في رؤية الحدث بأى حال وهو يتكرر أمام أعيننا. حتى لو "كانت الظروف لأول إنتاج لكائن حى" لا تزال موجودة، فإن أى إنتاج جديد كهذا "سيتم في التو التهامه أو امتصاصه" (لدينا الآن سبب قوى لأن نضيف لذلك أن هذا فيما يفترض سيكون بواسطة البكتريا).

كتب داروين هذا بعد سبع سنوات مما ذكره لويس باستير في محاضرة بالسوربون حين قال: " لن يفيق قط مبدأ التولد التلقائى من الضربة المميتة التى وجهت له بهذه التجربة البسيطة ". كانت هذه التجربة البسيطة هي تجربة أوضح فيها باستير أن الحساء عندما يوضع في إناء مغلق بإحكام يمنع وصول الكائنات الدقيقة إليه، لا يفسد، وذلك عكس التوقعات الشائعة في ذلك الوقت.

أحيانا يستشهد التكوينيون بإثباتات عملية مثل هذه التجربة لباستير على أن فيها أدلة في صفهم. يجـرى قياسهم المنطـقى الـزائف كالتالى: "التولد التلقائى لا يلاحظ الآن أبدا. وبالتالى فإن وجود أصل للحياة مستحيل". ملاحظة داروين التى أبداها في ١٨٧١ كانت على وجه الدقة مخططة كرد لاذع على هذا النوع من

اللامنطقية. من الواضح أن التولد التلقائي للحياة حدث نادر جدا، ولكنه مما لا بد وأن يكون قد حدث لمرة واحدة، وهذا يصدق سواء كنت تظن أن التولد التلقائي الأصلي كان حدثا طبيعيا أو فوق الطبيعي. مسألة مدى ما تكونه بالضبط ندرة حدث أصل الحياة مسألة تثير الاهتمام وسوف أعود إليها.

أول محاولات جدية للتفكير في الطريقة التي ربما بدأت بها الحياة أصلا، هي محاولات أو بارين في روسيا ومحاولات هالدين (على نحو مستقل) في إنجلترا، وكلاهما بدأ بإنكار أن ظروف أول إنتاج للحياة لا تزال باقية معنا. طرح أوبارين وهالدين أن الجو في الأزمنة المبكرة سيكون مختلفا جدا عنه حاليا. وعلى وجه الخصوص لن يكون هناك أوكسجين حر، وبالتالي فإن هذا الجو كان كما يسميه الكيميائيون بطريقة غامضة، جوا "مختزِلا". نحن نعرف الآن أن كل الأوكسجين الحر الموجود في الجو هو نتاج الحياة، وخاصة النباتات – ومن الواضح أنه ليس جزءا من الظروف السالفة التي نشأت فيها الحياة. تدفّق الأوكسجين إلى الجو كمادة ملوثة، بل حتى كسم، إلى أن شكل الانتخاب الطبيعي أشياء حية تزدهر على هذه المادة، بل أنها في الحقيقة تختنق بدونها. الجو "المختزِل " ألهم بأشهر هجوم بالتجارب على مشكلة أصل الحياة، وذلك بما يسمى قارورة ستانلي ميلر المملوءة بمكونات بسيطة، تزبد بفقاعات وتبرق بشرارات لمدة أسبوع واحد فقط، أنتجت بعده أحماضا أمينية وبعض بشائر أخرى للحياة.

كثيرا ما يحدث حاليا أن تُرفض "بركة داروين الصغيرة الدافئة"، هي وشراب الساحرة المخمر الذى ألهمت ميلر بأن يمزجه، ويكون رفضهما هكذا تمهيدا لتقديم بعض بديل مفضل. الحقيقة أنه لا توجد فكرة تحظى بموافقة جماعية غالبة بقوة. طُرحت أفكار عديدة فيها ما يعد، إلا أنه لا توجد أدلة حاسمة تدل على أى منها على نحو بين. أبديت في كتب سابقة لى اهتمامى بإمكنات مختلفة مثيرة

للاهتمام، بما في ذلك نظرية جراهام كيرنز- سميث عن بلورات الطفل اللاعضوية، وكذلك الرأى السائد في وقت أحدث بأن الظروف التى نشأت فيها الحياة لأول مرة كانت شبيهة بالمأوى البيئى البالغ السخونة لما يوجد حاليا من "محبى الحرارة" من البكتريا والأركيات، والتى يزدهر بعضها وتتكاثر في الينابيع الحارة التى تغلى بالمعنى الحرفى للكلمة. تتجه الآن الأغلبية من البيولوجيين إلى "نظرية رنا عن العالم"، وذلك لسبب أجد أنه مقنع تمامًا.

ليس لدينا أى دليل عما تكونه أول خطوة لصنع الحياة، ولكننا نعرف بالفعل أى "نوع" من الخطوات يجب أن تكونه. فهى يجب أن تتكون من أى مما يلزم حتى يجعل الانتخاب الطبيعى يبدأ العمل. قبل هذه الخطوة الأولى سيكون من المستحيل إنجاز تلك الضروب من التحسين التى لا يستطيع أن ينجزها إلا الانتخاب الطبيعى وحده. يعنى هذا أن الخطوة المفتاح كانت تنشأ بواسطة بعض عملية لكيان ناسخ للذات لا تزال غير معروفة لنا. النسخ الذاتى يفرخ عشيرة من الكيانات يتنافس أحدها مع الآخر في أن يتناسخ. حيث أنه لا توجد علمية نسخ كامل الإتقان، فإن العشيرة ستنتهى حتما إلى أن تحوى تغايرا، وعندما توجد متغايرات في عشيرة من الناسخات فإن من يمتلك منها ما يلزم للنجاح سوف يتوصل إلى الهيمنة. هذا هو الانتخاب الطبيعى، ولا يمكن له أن يبدأ حتى يأتى إلى الوجود أول كيان ناسخ للذات.

يخمن داروين في الفقرة التى ذكر فيها "البركة الصغيرة الدافئة" أن الحدث المفتاح في أصل الحياة قد يكون بالنشأة التلقائية للبروتين، ولكن هذا يثبت في النهاية أنه أقل وعدا مما كانت عليه معظم أفكار داروين. ليس معنى هذا أن ننكر أن للبروتينات أهمية حيوية للحياة. رأينا في الفصل الثامن أن البروتينات لها خاصة مميزة جدا بأن تلتف على نفسها لتشكل أجساما ثلاثية الأبعاد، يتحدد شكلها

بالضبط بالتتابع ذى البعد الواحد لمكوناتها من الأحماض الأمينية. رأينا أيضا أن الشكل نفسه بالضبط يضفى على البروتينات القدرة على حفز التفاعلات الكيميائية بقدر كبير من التخصص، فتزيد من سرعة تفاعلات معينة بما قد يصل إلى ترليون مثل. تخصص الإنزيمات بجعل الكيمياء البيولوجية أمرا ممكنا، ويبدو أن البروتينات لها مرونة لا نهائية تقريبا من حيث مدى الأشكال التى تستطيع أن تتخذها. هذا إذن ما تتقنه البروتينات. وهى حقا تتقن ذلك جدا جدا، وكان داروين محقا تماما في أن ينوه بأمرها. إلا أن هناك شيئا تسيء البروتينات تماما أداءه، وقد فات داروين الانتباه لذلك. من الميؤس منه تماما أن تتناسخ البروتينات. فهى لا تستطيع أن تصنع نسخا لذاتها. يعنى هذا أن الخطوة المفتاح في أصل الحياة لا يمكن أن تكون عن طريق النشأة التلقائية للبروتين. ماذا كانت إذن هذه الخطوة؟

أفضل ما نعرف كجزىء ناسخ لذاته هو D N A. سنجد في أشكال الحياة المتقدمة المألوفة لنا، أن دنا والبروتينات يتكاملان على نحو بارع. جزيئات البروتين إنزيمات رائعة ولكنها ناسخات فاشلة. D N A عكس ذلك تماما. D N A لا يلتف في أشكال ثلاثية الأبعاد، وبالتالى لا يعمل كإنزيم. وهو بدلا من أن يلتف، يظل محتفظا بشكله المفتوح الخطى، وهذا هو ما يجعله مثاليا في دوريه معا، دوره كناسخ، ودوره كمحدّد لتتابعات الأحماض الأمينية. أما جزيئات البروتين فتلتف في أشكال "مغلقة" وهذا بالضبط هو السبب في أنها "لا تكشف" عن معلومات تتابعاتها بالطريقة التى يمكن معها نسخها أو "قراءتها". معلومات التتابع مدفونة داخل البروتين الملفوف بحيث لا يمكن التوصل إليها. أما في سلسلة D N A الطويلة فإن معلومات التتابع مكشوفة ومن المتاح أن تقوم بدور قالب الصب.

المأزق الحرج بالنسبة لأصل الحياة هو التالى. D N A يستطيع أن يتناسخ، ولكنه يحتاج إلى إنزيمات لتحفز هذه العملية. البروتينات تستطيع أن تحفز تكوين D N A ، ولكنها تحتاج لـــ D N A ليحدد التتابع الصحيح للأحماض الأمينية. كيف استطاعت الجزيئات في كوكب الأرض المبكر أن تكسر هذا القيد وتتيح للانتخاب الطبيعى أن يبدأ عمله؟ هنا يدخل D N A إلى المشهد.

ينتمى رنا مثل D N A ، إلى العائلة نفسها من الجزيئات المتسلسلة، التى تسمى بالنيوكليوتيدات المتعددة. D N A قادر على حمل ما يصل إلى أن يكون نفس "حروف" الشفرة الأربعة مثل D N A ، وهو حقا يفعل ذلك داخل الخلايا الحية، فيحمل المعلومات الوراثية من D N A إلى الموضع الذى يمكن فيه الاستفادة بها. D N A يعمل كقالب صب لبناء تتابعات شفرة D N A. وبعدها يتم بناء تتابعات البروتين باستخدام D N A كقالب صب لها وليس D N A. بعض الفيروسات ليس لديها مطلقا أى D N A. وهذه يكون D N A هو الجزىء الوراثى لها، والمسئول لوحده عن نقل المعلومات الوراثية من جيل للآخر.

والآن هيا بنا إلى النقطة المفتاح في "نظرية عالم D N A " عن أصل الحياة. بالإضافة إلى قدرة D N A على أن يمتد في شكل ملائم لأن يمرر المعلومات عن التتابعات، فإن له أيضا القدرة على تجميع ذاته، مثل قلادتنا المغناطيسية في الفصل الثامن، فيتجمع في أشكال ثلاثية الأبعاد لها نشاط إنزيمى. إنزيمات D N A لها وجودها بالفعل. وهى ليست بكفاءة الإنزيمات البروتينية ولكنها تعمل بنجاح بالفعل. تطرح نظرية عالم D N A أن D N A كان كإنزيم له القدرة الكافية للحفاظ على المهمة حتى تطورت البروتينات لتتولى دور الإنزيمات، كما أن D N A كان له القدرة الكافية أيضا كناسخ ظلّ يعمل متخبطا في هذا الدور حتى تم تتطور D N A.

أجد أن نظرية عالم رنا معقولة، وأعتقد أن من المرجح إلى حد كبير أن يصل الكيميائيون خلال العقود القليلة التالية إلى أن يحاكوا في المعمل إعادة بناء كاملة للأحداث التى أدت إلى انطلاق الانتخاب الطبيعى في طريقه الخطير منذ أربعة بلايين سنة. تم بالفعل بهذا الصدد اتخاذ خطوات رائعة في الاتجاه الصحيح.

على أنى قبل أن أترك هذا الموضوع، لا بد لى من أن أكرر التحذير الذى نبهت إليه في كتب سابقة لى. نحن لا نحتاج بالفعل إلى نظرية معقولة عن أصل الحياة، بل إننا حتى قد نحس بشىء من القلق لو تم اكتشاف نظرية معقولة بأكثر مما يجب ! تنشأ هذه المفارقة الفاضحة عن السؤال المشهور "أين كل هؤلاء؟" وهو السؤال الذى طرحه الفيزيائى إنريكو فيرمى(*). على الرغم من أن سؤاله يبدو ملغزا، إلا أن رفاق فيرمى من الزملاء الفيزيائيين في معمل لوس ألاموس كان فيهم ترددات ضُبطت بالطريقة الكافية لأن يدركوا بالضبط ما يعنيه فيرمى. لماذا لم تتم زيارتنا بكائنات حية من مكان آخر من الكون؟ وحتى إذا لم تتم الزيارة على نحو شخصى، إلا أن الزيارة يمكن على الأقل أن تتم بواسطة إشارات الراديو (وهذا هو الأكثر احتمالا إلى حد كبير).

من الممكن الآن تقدير أن هناك ما هو أكثر من بليون كوكب في مجرتنا، وأن هناك ما يقرب من البليون مجرة. يعنى هذا أنه على الرغم من أن من الممكن أن يكون كوكبنا هو الكوكب الوحيد في المجرة الذى توجد فيه حياة، إلا أنه حتى يصدق ذلك يجب أن يكون احتمال نشأة الحياة فوق أحد الكواكب احتمالا لا يزيد كثيرا عن الواحد في البليون. وبالتالى، فإن النظرية التى نسعى لها عن أصل الحياة فوق هذا الكوكب ينبغى حقيقة "ألا" تكون نظرية معقولة! لو كانت معقولة فإنه

(*) إنريكو فيرمى (١٩٠١- ١٩٥٤) فيزيائى أمريكى من أصل إيطالى، ساعدت دراساته على صنع القنبلة الذرية.(المترجم)

ينبغى عندها أن تكون الحياة شائعة في المجرة. لعلها تكون شائعة، وفى هذه الحالة يكون ما نريده هو نظرية معقولة. إلا أننا ليس لدينا أى دليل على وجود حياة خارج هذا الكوكب، ويحق لنا هكذا في أقل القليل أن نقنع بنظرية غير معقولة. إذا أخذنا سؤال فيرمى مأخذا جديا، وفسرنا عدم وجود زيارات من خارج الأرض كدليل على أن الحياة نادرة لأقصى حد في المجرة، فإنه ينبغى علينا عندها أن نتحرك نحو اتجاه نتوقع فيه حقيقة أنه لا توجد نظرية معقولة عن أصل الحياة. قد طورت هذه المحاجة على نحو أكمل في كتابى "صانع الساعات الأعمى"، وسوف نتركها إذن لذلك الكتاب. ما أخمنه، وإن كان يمكن أن يكون تخميننا غير مهم، هو أن الحياة أمر نادر جدا، (وليس أكبر سبب لذلك هو وجود عناصر مجهولة بأكثر مما ينبغى)، إلا أن عدد الكواكب بالغ الكثرة (ولا زلنا نكتشف المزيد طول الوقت) بحيث أن من المحتمل أننا لسنا موجودين وحدنا، وربما يوجد في الكون الملايين من جزر الحياة. ومع ذلك، فحتى هذه الملايين من الجزر يمكن أن تكون متباعدة بمسافات كبيرة إلى حد بالغ بحيث لا تكاد توجد فرصة لأن تلتقى واحدة منها بالأخرى، حتى ولو بالراديو. على أنه بكل أسف، في مدى ما يختص بالنواحى العملية، قد نكون أيضا موجودين وحدنا.

"ظلت تتطور، ولا تزال تتطور، أشكال لا نهاية لها غاية في الجمال والروعة"

لست متأكدا مما كان يعنيه داروين بعبارة "لا نهاية لها". ربما تكون مجرد صيغة من المبالغة القصوى، استخدمها ليزيد من قوة "غاية في الجمال" و"غاية في الروعة". أتوقع أن يكون هذا جزءا مما أراده. ولكنى أود أن أعتقد أن داروين كان يعنى بعبارة "لا نهاية لها" شيئا أكثر دقة. عندما ننظر وراء في تاريخ الحياة، نرى صورة من إبداع للجديد لا ينتهى أبدا، ويتجدد شبابه دائما. الأفراد يموتون؛

تنقرض الأنواع، والعائلات، والرتب بل حتى الطوائف تنقرض أيضا. ولكن عملية التطـــور نفسها يبـــدو أنها لا تلبث أن تتماسك وتستأنف استعادة ازدهارها، بنشاط لا يتناقص، وبشباب لا يخمد، مع مرور العهود واحدا بعد الآخر.

اسمحوا لى أن أعود بإيجاز لنماذجى الكمبيوترية للانتخاب الاصطناعى التى وصفتها في الفصل الثانى (في الجزء الأول): "متنزه السفارى" لبيومورفات الكمبيوتر، بما في ذلك المفصلمورفات والمحارمورفات، والتى تبين الطريقة التى ربما تطورت بها المحاريات الرخوية بتنوعها الهائل. قدمت في ذلك الفصل هذه المخلوقات الكمبيوترية كصورة توضيحية للطريقة التى يعمل بها بنجاح الانتخاب الاصطناعى ومدى ماله من قوة عندما يتاح له العدد الكافى من الأجيال. أود الآن أن أستخدم هذه النماذج الكمبيوترية لغرض آخر.

يسيطر علىّ انطباع اثناء تحديقى لشاشة الكمبيوتر وما يتولد من بيومورفات، سواء كانت ملونة أو سوداء، وعند استيلاد المفصلمورفات، هذا الانطباع هو أن هذا الأمر كله لن يكون أبدا مثارا للملل. هناك حس بغرابة تتجدد إلى ما لا نهاية. لا يبدو أبدا أن البرنامج سيناله "التعب"، ولا هو ينال اللاعب أيضا. في هذا ما يتباين مع برنامج "داركى" الذى وصفته باختصار في الفصل العاشر، ذلك البرنامج الذى تُشد فيه "الجينات" بطريقة رياضية عند إحداثيات صفحة مطاط افتراضية قد رسم عليها أحد الحيوانات. عند أداء الانتخاب الاصطناعى باستخدام برنامج داركى سيبدو أن اللاعب بمضى الوقت يبتعد لأكثر وأكثر من نقطة المرجعية التى يكون فيها للأشياء معنى، لينتهى إلى أرض ميدان ليست ملكا لأحد، وفيها تشويه للشكل وانعدام للصقل، وحيث يبدو أن المعنى يقل كلما تحركنا لمسافة أبعد من نقطة البداية. سبق لى أن أشرت لسبب ذلك. في برامج البيومورفات والمفصلمورفات والمحارمورفات يكون لدينا مرادفات كمبيوترية

لعمليات إمبريولوجية – ثلاث عمليات إمبريولوجية مختلفة، كلها بطرائقها المختلفة معقولة بيولوجيا. برنامج داركى في تباين مع ذلك، لا يحاكى الإمبريولوجيا مطلقا. وكما شرحت في الفصل العاشر، فإنه بدلا من ذلك يتناول التشوهات التى قد يتحول بها أحد الأشكال البالغة إلى شكل بالغ آخر. انعدام الإمبريولوجيا هكذا يحرم برنامج داركى من "خصوبة الابتكار" التى تعرضها البيومورفات، والمفصلمورفات والمحارمورفات. هذه الخصوبة الإبداعية نفسها تعرضها إمبريولوجيات الحياة الواقعية، وهذا هو الحد الأدنى كسبب لما يولده التطور بين "أشكال لا نهاية لها غاية في الجمال والروعة". ولكـــن هـــل نستطيع الذهاب إلى مدى أبعد من هذا الحد الأدنى؟

في ١٩٨٩ كتبت ورقة بحث عنوانها "تطور القدرة على التطور" طرحت فيها أن الأمر لا يقتصر على أن الحيوانات مع مرور الأجيال تتحسن فيما يتعلق بالبقاء في الوجود: وإنما يحدث أيضا أن خطوط سلالة الحيوانات تتحسن في "فعل التطور". ماذا يعنى القول بأنها "تتحسن في فعل التطور"؟ ما هي أنواع الحيوانات التى تحسِن التطور؟ فيما يبدو، فإن الحشرات فوق الأرض والقشريات في البحر تتجلى كأبطال في التنوع إلى آلاف الأنواع، وتقوم بتوزيع المواضع البيئية، وتغيير الأزياء عبر الزمان التطورى في حماس ومرح. الأسماك أيضا تظهر خصوبة تطورية مذهلة، وكذلك الضفادع، وأيضا الثدييات والطيور المألوفة لنا بأكثر.

الأمر الذى طرحته في ورقة بحثى في ١٩٨٩، هو أن القدرة على التطور هي خاصية للإمبريولوجيات. الجينـــات تطفـــر لتحدث تغييرا في جسم الحيوان، إلا أنها عليها أن تعمل من خلال عمليات التنامى الإمبريولوجى. بعض الإمبريولوجيات تكون أفضل من غيرها في أن تنمى عاليا مجالات مثمرة من التباين الوراثى حتى يعمل عليها الانتخاب الطبيعى، وبالتالى فإنها ربما تكون

أفضل في التطور. تبدو كلمة "ربما" هنا أضعف مما ينبغى. أليس من الواضح كل الوضوح تقريبا أن بعض الإمبريولوجيات هي بهذا المعنى "لا بد وأن تكون أفضل من غيرها في التطور؟ أعتقد ذلك. قد يبدو الأمر أقل وضوحا، ولكنى مع ذلك أعتقد أن ثمة دعوى قوية يمكن إقامتها هنا، وأنه ربما يكون هناك نوع من انتخاب طبيعى بمستوى أعلى يكون محبذا "للإمبريولوجيات القادرة على التطور". مع مرور الوقت تحسّن الإمبريولوجيات من قدرتها على التطور. إذا كان هناك وجود لهذا النوع من "الانتخاب الأعلى في المستوى"، فإنه سيكون إلى حد ما مختلفا عن الانتخاب الطبيعى العادى، الذى يختار الأفراد لقدرتهم على تمرير الجينات بنجاح (أو بما يرادف ذلك، فإنه يختار الجينات لقدرتها على بناء أفراد ناجحين). هذا الانتخاب الأعلى في المستوى، الذى يحسّن القدرة على التطور، سيكون من النوع الذى أسماه جورج س. ويليامز العالم الأمريكى العظيم في البيولوجيا التطورية بأنه "انتخاب الفرع، Clade selection". الفرع غصن من شجرة الحيـــاة، مثل النوع أو الجنس، أو الرتبة، أو الطائفة. نستطيع القول بأنه قد وقع انتخاب لفرع عندما يحدث لفرع مثل الحشرات أن ينتشر، ويتنوع ويشيع أفراده في العالم بنجاح أكثر من أى فرع آخر مثل البوجونوفورا، pogonophora" (كلا، أنت فيما يحتمل لم تسمع عن هذه المخلوقات الغامضة التى تشبه الديدان، وهناك سبب لذلك: فهى تشكل فرعا غير ناجح !). انتخاب الفرع لا يتضمن أن على الأفرع أن تتنافس أحدها مع الآخر. الحشرات لا تنافس البوجونوفورا، أو هي على الأقل لا تنافسها بطريقة مباشرة على الطعام أو الخبز أو أى من الموارد الأخرى. ولكن العالم ملىء بالحشرات، ويكاد يخلو من البوجونوفورا، وهناك ما يغرينا بصواب إلى أن نعزو نجاح الحشرات إلى بعض ما لديها من ملامح. وفيما أخمن فإن هذا له بعض علاقة بإمبريولوجيتها التى تجعلها قابلة للتطور. في فصل بكتابى "تسلق جبل غير

المحتمل" عنوانه "الأجنة المشكالية"(*) طرحت اقتراحات مختلفة لملامح خاصة تؤدى إلى القابلية للتطور، بما في ذلك قيود "السمترية"، وكذلك معمار الوحدات المتكررة مثل تخطيط الجسم في "حلقات". ربما يكون معمار الوحدات الحلقية جزءا من السبب في أن فرع المفصليات[١] بارع في التطور، وفى إظهار التغاير في اتجاهات مختلفة، وفى إحداث تنواع، وفى انتهاز الفرص لملأ المواقع البيئية عندما تكون متاحة. الفروع الأخرى قد تكون ناجحة بما يماثل ذلك لأن إمبريولوجياتها مقيدة بالتنامى في شكل صورة مرآة في المستويات المختلفة[٢]. الفروع التى نراها وهى تحشد أفرادها في الأراضى والبحار هي الفروع البارعة في التطور. يحدث في انتخاب الفروع أن الفروع الفاشلة تنقرض، أو تفشل في التنوع حتى تواجه التحديات المختلفة: وهكذا فإنها تذوى وتبيد. الفروع الناجحة تزدهر وتنمو كالأوراق فوق شجرة نشأة وتطور الأنواع. هناك إغواء بأن ينظر إلى انتخاب الفروع على أنه يشابه الانتخاب الطبيعى الداروينى. ينبغى مقـــاومة هذا الإغواء، أو ينبغى على الأقل العمل على التحذير منه. أوجه الشبه السطحية يمكن أن يكون فيها تضليل فعال.

(*) المشاكل (الكاليدوسكوب) أداة تحوى قطعا متحركة من زجاج ملون تعطى عند تغيير أوضاعها تكوينات لا حصر لها من أشكال هندسية مختلفة الألوان، وشىء مشكالى تعنى أن له مشهد متغير. (المترجم)

(١) فرع المفصليات أى الحشرات والقشريات، والعناكب، والمئينية (أم أربعة وأربعين)، إلخ.

(٢) مثال ذلك أن طفرة في ساق دودة ألفية ستكون لها صورة مرآه في الجانبين، وربما تتكرر أيضا بطول الجسم. على الرغم من أن هذه طفرة واحدة، إلا أن العمليات الإمبريولوجية تقيدها بأن تتكرر مرات كثيرة على اليسار واليمين. قد يبدو لأول وهله وجود تناقض في أن أحد القيود ينبغى أن يزيد من الانتشار التطورى لأحد الأفرع وسبب ذلك قد أوضحناه في الفصل نفسه من كتاب "تسلق جبل غير المحتمل"، فصل "الأجنة المشاكلية".

حقيقة وجودنا نفسه تكاد تكون مذهلة بأكثر مما يحتمل. ويماثل ذلك حقيقة أننا محاطون بمنظومة إيكولوجية غنية من حيوانات تشبهنا تقريبا شبها وثيقا، ونباتات أقل شبها بنا وإن كنا نعتمد عليها اعتمادا أساسيا لتغذيتنا، وبكتريا تشبه أسلافنا البعيدة والتى سوف نعود إليها جميعا عندما نبلى وينتهى أجلنا. كان داروين متقدما لحد بعيد عن زمانه في فهمه لعظم حجم مشكلة وجودنا، وكذلك في وقوعه على حل لها. وكان داروين متقدما أيضا إلى حد كبير عن زمانه في إدراكه للاعتماد المتبادل بين الحيوانات والنباتات وكل الكائنات الأخرى، وهو اعتماد متبادل في علاقات ذات تشابك معقد بما يذهل أى تصور. كيف يحدث أننا نجد أنفسنا ونحن لسنا موجودين فحسب، وإنما محاطون بمثل هذا التعقد، وهذا الرونق، وهذه الأشكال التى لا نهاية لها والتى في غاية الجمال والروعة؟

الإجابة هي كالتالى. لا يمكن أن تكون الأمور على غير ذلك، ما دمنا قادرين بأى حال على أن نلحظ وجودنا، وأن نلقى الأسئلة حوله. وكما يبين لنا علماء الكونيات، فإنه ليس من باب الصدفة أننا نرى نجوما في سمائنا. ربما يكون هناك أكوان لا توجد فيها نجوم، أكوان لها قوانين فيزياء وثوابت تؤدى إلى أن تترك الهيدروجين الأولى منتشرا في تساو ولا يتركز في نجوم. إلا أنه لا يوجد أحد يلحظ تلك الأكوان، لأن الكائنات القادرة على أن تلحظ أى شيء لا تستطيع أن تتطور من غير نجوم. الأمر لا يقتصر على أن الحياة تحتاج على الأقل لنجم واحد يوفر الطاقة. فالنجوم هي أيضا الأفران التى تصاغ فيها أغلبية العناصر الكيميائية، ونحن لا يمكننا أن نحوز أى حياة بدون كيمياء ثرية. نستطيع أن نستعرض قوانين الفيزياء، واحدا بعد الآخر، ونقول الشيء نفسه عنها كلها: ليس من باب الصدفة أننا نرى...



يصدق الأمر نفسه على البيولوجيا. ليس من باب الصدفة أننا نرى الخضرة أينما ننظر تقريبا. ليس من باب الصدفة أننا نجد أنفسنا قابعين فوق غصن واحد ضئيل وسط شجرة الحياة المزدهرة النامية؛ ليس من باب الصدفة أننا محاطون بملايين من الأنواع الأخرى التى تأكل، وتنمو، وتتعفن، وتسبح، وتمشى، وتطير، وتحفر الجحور، وتتسلل خلسة، وتطارد، وتهرب، وتتفوق في السرعة، وتتفوق في البديهة. لولا أن النباتات الخضراء تفوقنا عددا بما لا يقل عن نسبة العشرة إلى الواحد، لما كانت هناك طاقة تزودنا بالقوة. لولا سباقات التسلح التى تتصاعد أبدا بين المفترسين والفرائس، وبين الطفيليات وعائليها، ولولا ما قاله داروين عن "حرب الطبيعة" و"المجاعة والموت" لن يكون هناك وجود لأجهزة عصبية لها القدرة على أن ترى أى شيء مطلقا، ناهيك عن إدراكه وفهمه. نحن محاطون بأشكال لا نهاية لها غاية في الجمال والروعة، وليس هذا من باب الصدفة، ولكنه نتيجة تترتب مباشرة على التطور بواسطة الانتخاب الطبيعى اللاعشوائى – اللعبة الوحيدة في المدينة، أعظم استعراض فوق الأرض.

المراجع ولمزيد من القراءة

Adams, D. and Carwardine, M. 1991. *Last Chance to See*. London: Pan.

Atkins, P. W. 1984. *The Second Law*. New York: Scientific American.

Atkins, P. W. 1995. *The Periodic Kingdom*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Atkins, P. W. 2001. *The Elements of Physical Chemistry: With Applications in Biology*. New York: W. H. Freeman.

Atkins, P. W. and Jones, L. 1997. *Chemistry: Molecules, Matter and Change*, 3rd rev. edn. New York: W. H. Freeman.

Ayala, F. J. 2006. *Darwin and Intelligent Design*. Minneapolis: Fortress.

Barash, D. P. and Barash, N. R. 2005. *Madame Bovary's Ovaries: A Darwinian Look at Literature*. New York: Delacorte.

Barlow, G. W. 2002. *The Cichlid Fishes: Nature's Grand Experiment in Evolution*, 1st pb edn. Cambridge, Mass.: Basic Books.

Berry, R. J. and Hallam, A. 1986. *The Collins Encyclopedia of Animal Evolution*. London: Collins.

Bodmer, W. and McKie, R. 1994. *The Book of Man: The Quest to Discover Our Genetic Heritage*. London: Little, Brown.

Brenner, S. 2003. 'Nature's gift to science', in T. Frängsmyr, ed., *Les Prix Nobel, The Nobel Prizes 2002: Nobel Prizes, Presentations, Biographies and Lectures*, 274–82. Stockholm: The Nobel Foundation.

Brooks, A. C. and Buss, I. O. 1962. 'Trend in tusk size of the Uganda elephant', *Mammalia*, 26, 10–34.

Browne, J. 1996. *Charles Darwin*, vol. 1: *Voyaging*. London: Pimlico.

Browne, J. 2003. *Charles Darwin*, vol. 2: *The Power of Place*. London: Pimlico.

Cain, A. J. 1954. *Animal Species and their Evolution*. London: Hutchinson.

Cairns-Smith, A. G. 1985. *Seven Clues to the Origin of Life: A Scientific Detective Story*. Cambridge: Cambridge University Press.

Carroll, S. B. 2006. *The Making of the Fittest: DNA and the Ultimate Forensic Record of Evolution*. New York: W. W. Norton.

Censky, E. J., Hodge, K. and Dudley, J. 1998. 'Over-water dispersal of lizards due to hurricanes', *Nature*, 395, 556.

Charlesworth, B. and Charlesworth, D. 2003. *Evolution: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press.

Clack, J. A. 2002. *Gaining Ground: The Origin and Evolution of Tetrapods*. Bloomington: Indiana University Press.

Comins, N. F. 1993. *What If the Moon Didn't Exist? Voyages to Earths that Might Have Been*. New York: HarperCollins.
Conway Morris, S. 2003. *Life's Solution: Inevitable Humans in a Lonely Universe*. Cambridge: Cambridge University Press.
Coppinger, R. and Coppinger, L. 2001. *Dogs: A Startling New Understanding of Canine Origin, Behaviour and Evolution*. New York: Scribner.
Cott, H. B. 1940. *Adaptive Coloration in Animals*. London: Methuen.
Coyne, J. A. 2009. *Why Evolution is True*. Oxford: Oxford University Press.
Coyne, J. A. and Orr, H. A. 2004. *Speciation*. Sunderland, MA: Sinauer.
Crick, F. H. C. 1981. *Life Itself: Its Origin and Nature*. London: Macdonald.
Cronin, H. 1991. *The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today*. Cambridge: Cambridge University Press.
Damon, P. E.; Donahue, D. J.; Gore, B. H.; Hatheway, A. L.; Jull, A. J. T.; Linick, T. W.; Sercel, P. J.; Toolin, L. J.; Bronk, R.; Hall, E. T.; Hedges, R. E. M.; Housley, R.; Law, I. A.; Perry, C.; Bonani, G.; Trumbore, S.; Woelfli, W.; Ambers, J. C.; Bowman, S. G. E.; Leese, M. N.; and Tite, M. S. 1989. 'Radiocarbon dating of the Shroud of Turin', *Nature*, 337, 611–15.
Darwin, C. 1845. *Journal of researches into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle round the world, under the Command of Capt. Fitz Roy, R.N.*, 2nd edn. London: John Murray.
Darwin, C. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*, 1st edn. London: John Murray.
Darwin, C. 1868. *The Variation of Animals and Plants under Domestication*, 2 vols. London: John Murray.
Darwin, C. 1871. *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*, 2 vols. London: John Murray.
Darwin, C. 1872. *The Expression of the Emotions in Man and Animals*. London: John Murray.
Darwin, C. 1882. *The Various Contrivances by which Orchids are Fertilised by Insects*. London: John Murray.
Darwin, C. 1887a. *The Life and Letters of Charles Darwin*, vol. 1. London: John Murray.
Darwin, C. 1887b. *The Life and Letters of Charles Darwin*, vol. 2. London: John Murray.
Darwin, C. 1887c. *The Life and Letters of Charles Darwin*, vol. 3. London: John Murray.
Darwin, C. 1903. *More Letters of Charles Darwin: A Record of his Work in a Series of Hitherto Unpublished Letters*, 2 vols. London: John Murray.
Darwin, C. and Wallace, A. R. 1859. 'On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection', *Journal of the Proceedings of the Linnaean Society (Zoology)*, 3, 45–62.
Davies, N. B. 2000. *Cuckoos, Cowbirds and Other Cheats*. London: T. & A. D. Poyser.
Davies, P. C. W. 1998. *The Fifth Miracle: The Search for the Origin of Life*. London: Allen Lane, The Penguin Press.

Davies, P. C. W. and Lineweaver, C. H. 2005. 'Finding a second sample of life on earth', *Astrobiology*, 5, 154–63.
Dawkins, R. 1986. *The Blind Watchmaker*. London: Longman.
Dawkins, R. 1989. 'The evolution of evolvability', in C. E. Langton, ed., *Artificial Life*, 201–20. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
Dawkins, R. 1995. *River Out of Eden*. London: Weidenfeld & Nicolson.
Dawkins, R. 1996. *Climbing Mount Improbable*. London: Viking.
Dawkins, R. 1998. *Unweaving the Rainbow*. London: Penguin.
Dawkins, R. 1999. *The Extended Phenotype*, rev. edn. Oxford: Oxford University Press.
Dawkins, R. 2004. *The Ancestor's Tale: A Pilgrimage to the Dawn of Life*. London: Weidenfeld & Nicolson.
Dawkins, R. 2006. *The Selfish Gene*, 30th anniversary edn. Oxford: Oxford University Press. (First publ. 1976.)
Dawkins, R. and Krebs, J. R. 1979. 'Arms races between and within species', *Proceedings of the Royal Society of London*, Series B, 205, 489–511.
de Panafieu, J.-B. and Gries, P. 2007. *Evolution in Action: Natural History through Spectacular Skeletons*. London: Thames & Hudson.
Dennett, D. 1995. *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*. London: Allen Lane.
Desmond, A. and Moore, J. 1991. *Darwin: The Life of a Tormented Evolutionist*. London: Michael Joseph.
Diamond, J. 1991. *The Rise and Fall of the Third Chimpanzee: Evolution and Human Life*. London: Radius.
Domning, D. P. 2001. 'The earliest known fully quadrupedal sirenian', *Nature*, 413, 625–7.
Dubois, E. 1935. 'On the gibbon-like appearance of *Pithecanthropus erectus*', *Proceedings of the Section of Sciences of the Koninklijke Akademie van Wetenschappen*, 38, 578–85.
Dudley, J. W. and Lambert, R. J. 1992. 'Ninety generations of selection for oil and protein in maize', *Maydica*, 37, 81–7.
Eltz, T.; Roubik, D. W.; and Lunau, K. 2005. 'Experience-dependent choices ensure species-specific fragrance accumulation in male orchid bees', *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 59, 149–56.
Endler, J. A. 1980. 'Natural selection on color patterns in *Poecilia reticulata*', *Evolution*, 34, 76–91.
Endler, J. A. 1983. 'Natural and sexual selection on color patterns in poeciliid fishes', *Environmental Biology of Fishes*, 9, 173–90.
Endler, J. A. 1986. *Natural Selection in the Wild*. Princeton: Princeton University Press.
Fisher, R. A. 1999. *The Genetical Theory of Natural Selection: A Complete Variorum Edition*. Oxford: Oxford University Press.
Fortey, R. 1997. *Life: An Unauthorised Biography. A Natural History of the First Four Thousand Million Years of Life on Earth*. London: HarperCollins.
Fortey, R. 2000. *Trilobite: Eyewitness to Evolution*. London: HarperCollins.

Futuyma, D. J. 1998. *Evolutionary Biology*, 3rd edn. Sunderland, Mass.: Sinauer.
Gillespie, N. C. 1979. *Charles Darwin and the Problem of Creation*. Chicago: University of Chicago Press.
Goldschmidt, T. 1996. *Darwin's Dreampond: Drama in Lake Victoria*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
Gould, S. J. 1977. *Ontogeny and Phylogeny*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
Gould, S. J. 1978. *Ever since Darwin: Reflections in Natural History*. London: Burnett Books / Andre Deutsch.
Gould, S. J. 1983. *Hen's Teeth and Horse's Toes*. New York: W. W. Norton.
Grafen, A. 1989. *Evolution and its Influence*. Oxford: Clarendon Press.
Gribbin, J. and Cherfas, J. 2001. *The First Chimpanzee: In Search of Human Origins*. London: Penguin.
Haeckel, E. 1974. *Art Forms in Nature*. New York: Dover.
Haldane, J. B. S. 1985. *On Being the Right Size and Other Essays*. Oxford: Oxford University Press.
Hallam, A. and Wignall, P. B. 1997. *Mass Extinctions and their Aftermath*. Oxford: Oxford University Press.
Hamilton, W. D. 1996. *Narrow Roads of Gene Land*, vol. 1: *Evolution of Social Behaviour*. Oxford: W. H. Freeman / Spektrum.
Hamilton, W. D. 2001. *Narrow Roads of Gene Land*, vol. 2: *Evolution of Sex*. Oxford: Oxford University Press.
Harrison, D. F. N. 1980. 'Biomechanics of the giraffe larynx and trachea', *Acta Oto-Laryngology and Otology*, 89, 258–64.
Harrison, D. F. N. 1981. 'Fibre size frequency in the recurrent laryngeal nerves of man and giraffe', *Acta Oto-Laryngology and Otology*, 91, 383–9.
Helmholtz, H. von. 1881. *Popular Lectures on Scientific Subjects*, 2nd edn, trans. E. Atkinson. London: Longmans.
Herrel, A.; Huyghe, K.; Vanhooydonck, B.; Backeljau, T.; Breugelmans, K.; Grbac, I.; Van Damme, R.; and Irschick, D. J. 2008. 'Rapid large-scale evolutionary divergence in morphology and performance associated with exploitation of a different dietary resource', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 4792–5.
Herrel, A.; Vanhooydonck, B.; and Van Damme, R. 2004. 'Omnivory in lacertid lizards: adaptive evolution or constraint?' *Journal of Evolutionary Biology*, 17, 974–84.
Horvitz, H. R. 2003. 'Worms, life and death', in T. Frängsmyr, ed., *Les Prix Nobel, The Nobel Prizes 2002: Nobel Prizes, Presentations, Biographies and Lectures*, 320–51. Stockholm: The Nobel Foundation.
Huxley, J. 1942. *Evolution: The Modern Synthesis*. London: Allen & Unwin.
Huxley, J. 1957. *New Bottles for New Wine: Essays*. London: Chatto & Windus.
Ji, Q.; Luo, Z.-X.; Yuan, C.-X.; Wible, J. R.; Zhang, J.-P.; and Georgi, J. A. 2002. 'The earliest known eutherian mammal', *Nature*, 416, 816–22.
Johanson, D. and Edgar, B. 1996. *From Lucy to Language*. New York: Simon & Schuster.

Johanson, D. C. and Edey, M. A. 1981. *Lucy: The Beginnings of Humankind.* London: Granada.
Jones, S. 1993. *The Language of the Genes: Biology, History and the Evolutionary Future.* London: HarperCollins.
Jones, S. 1999. *Almost Like a Whale: The Origin of Species Updated.* London: Doubleday.
Joyce, W. G. and Gauthier, J. A. 2004. 'Palaeoecology of Triassic stem turtles sheds new light on turtle origins', *Proceedings of the Royal Society of London*, Series B, 271, 1–5.
Keynes, R. 2001. *Annie's Box: Charles Darwin, his Daughter and Human Evolution.* London: Fourth Estate.
Kimura, M. 1983. *The Neutral Theory of Molecular Evolution.* Cambridge: Cambridge University Press.
Kingdon, J. 1990. *Island Africa.* London: Collins.
Kingdon, J. 1993. *Self-Made Man and his Undoing.* London: Simon & Schuster.
Kingdon, J. 2003. *Lowly Origin: Where, When, and Why our Ancestors First Stood Up.* Princeton and Oxford: Princeton University Press.
Kitcher, P. 1983. *Abusing Science: The Case Against Creationism.* Milton Keynes: Open University Press.
Leakey, R. 1994. *The Origin of Humankind.* London: Weidenfeld & Nicolson.
Leakey, R. and Lewin, R. 1992. *Origins Reconsidered: In Search of What Makes Us Human.* London: Little, Brown.
Leakey, R. and Lewin, R. 1996. *The Sixth Extinction: Biodiversity and its Survival.* London: Weidenfeld & Nicolson.
Lenski, R. E. and Travisano, M. 1994. 'Dynamics of adaptation and diversification: a 10,000-generation experiment with bacterial populations', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, 6808–14.
Li, C.; Wu, X.-C.; Rieppel, O.; Wang, L.-T.; and Zhao, L.-J. 2008. 'An ancestral turtle from the Late Triassic of southwestern China', *Nature*, 456, 497–501.
Lorenz, K. 2002. *Man Meets Dog*, 2nd edn. London: Routledge.
Malthus, T. R. 2007. *An Essay on the Principle of Population.* New York: Dover. (First publ. 1798.)
Marchant, J. 1916. *Alfred Russel Wallace: Letters and Reminiscences*, vol. 1. London: Cassell.
Martin, J. W. 1993. 'The samurai crab', *Terra*, 31, 30–4.
Maynard Smith, J. 2008. *The Theory of Evolution*, 3rd edn. Cambridge: Cambridge University Press.
Mayr, E. 1963. *Animal Species and Evolution.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
Mayr, E. 1982. *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
Medawar, P. B. 1982. *Pluto's Republic.* Oxford: Oxford University Press.
Mendel, G. 2008. *Experiments in Plant Hybridisation.* New York: Cosimo Classics.

Meyer, R. L. 1998. 'Roger Sperry and his chemoaffinity hypothesis', *Neuropsychologia*, 36, 957–80.

Miller, J. D.; Scott, E. C.; and Okamoto, S. 2006. 'Public acceptance of evolution', *Science*, 313, 765–6.

Miller, K. R. 1999. *Finding Darwin's God: A Scientist's Search for Common Ground between God and Evolution*. New York: Cliff Street Books.

Miller, K. R. 2008. *Only a Theory: Evolution and the Battle for America's Soul*. New York: Viking.

Monod, J. 1972. *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*. London: Collins.

Morris, D. 2008. *Dogs: The Ultimate Dictionary of Over 1,000 Dog Breeds*. London: Trafalgar Square.

Morton, O. 2007. *Eating the Sun: How Plants Power the Planet*. London: Fourth Estate.

Nesse, R. M. and Williams, G. C. 1994. *The Science of Darwinian Medicine*. London: Orion.

Odell, G. M.; Oster, G.; Burnside, B.; and Alberch, P. 1980. 'A mechanical model for epithelial morphogenesis', *Journal of Mathematical Biology*, 9, 291–5.

Owen, D. F. 1980. *Camouflage and Mimicry*. Oxford: Oxford University Press.

Owen, R. 1841. 'Notes on the anatomy of the Nubian giraffe (Camelopardalis)', *Transactions of the Zoological Society of London*, 2, 217–48.

Owen, R. 1849. 'Notes on the birth of the giraffe at the Zoological Society's gardens, and description of the foetal membranes and some of the natural and morbid appearances observed in the dissection of the young animal', *Transactions of the Zoological Society of London*, 3, 21–8.

Owen, R. B.; Crossley, R.; Johnson, T. C.; Tweddle, D.; Kornfield, I.; Davison, S.; Eccles, D. H.; and Engstrom, D. E. 1989. 'Major low levels of Lake Malawi and their implications for speciation rates in cichlid fishes', *Proceedings of the Royal Society of London*, Series B, 240, 519–53.

Oxford English Dictionary, 2nd edn, 1989. Oxford: Oxford University Press.

Pagel, M. 2002. *Encyclopedia of Evolution*, 2 vols. Oxford: Oxford University Press.

Penny, D.; Foulds, L. R.; and Hendy, M. D. 1982. 'Testing the theory of evolution by comparing phylogenetic trees constructed from five different protein sequences', *Nature*, 297, 197–200.

Pringle, J. W. S. 1948. 'The gyroscopic mechanism of the halteres of Diptera', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series B, *Biological Sciences*, 223, 347–84.

Prothero, D. R. 2007. *Evolution: What the Fossils Say and Why It Matters*. New York: Columbia University Press.

Quammen, D. 1996. *The Song of the Dodo: Island Biogeography in an Age of Extinctions*. London: Hutchinson.

Reisz, R. R. and Head, J. J. 2008. 'Palaeontology: turtle origins out to sea', *Nature*, 456, 450–1.

Reznick, D. N.; Shaw, F. H.; Rodd, H.; and Shaw, R. G. 1997. 'Evaluation of the rate of evolution in natural populations of guppies (*Poecilia reticulata*)', *Science*, 275, 1934–7.

Ridley, Mark 1994. *A Darwin Selection*, 2nd rev. edn. London: Fontana.
Ridley, Mark 2000. *Mendel's Demon: Gene Justice and the Complexity of Life.* London: Weidenfeld & Nicolson.
Ridley, Mark 2004. *Evolution*, 3rd edn. Oxford: Blackwell.
Ridley, Matt 1993. *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature.* London: Viking.
Ridley, Matt 1999. *Genome: The Autobiography of a Species in 23 Chapters.* London: Fourth Estate.
Ruse, M. 1982. *Darwinism Defended: A Guide to the Evolution Controversies.* Reading, Mass.: Addison-Wesley.
Sagan, C. 1981. *Cosmos.* London: Macdonald.
Sagan, C. 1996. *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark.* London: Headline.
Sarich, V. M. and Wilson, A. C. 1967. 'Immunological time scale for hominid evolution', *Science*, 158, 1200–3.
Schopf, J. W. 1999. *Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils.* Princeton: Princeton University Press.
Schuenke, M.; Schulte, E.; Schumacher, U.; and Rude, J. 2006. *Atlas of Anatomy.* Stuttgart: Thieme.
Sclater, A. 2003. 'The extent of Charles Darwin's knowledge of Mendel', *Georgia Journal of Science*, 61, 134–7.
Scott, E. C. 2004. *Evolution vs. Creationism: An Introduction.* Westport, Conn.: Greenwood.
Shermer, M. 2002. *In Darwin's Shadow: The Life and Science of Alfred Russel Wallace.* Oxford: Oxford University Press.
Shubin, N. 2008. *Your Inner Fish: A Journey into the 3.5 Billion-Year History of the Human Body.* London: Allen Lane.
Sibson, F. 1848. 'On the blow-hole of the porpoise', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 138, 117–23.
Simons, D. J. and Chabris, C. F. 1999. 'Gorillas in our midst: sustained inattentional blindness for dynamic events', *Perception*, 28, 1059–74.
Simpson, G. G. 1953. *The Major Features of Evolution.* New York: Columbia University Press.
Simpson, G. G. 1980. *Splendid Isolation: The Curious History of South American Mammals.* New Haven: Yale University Press.
Skelton, P. 1993. *Evolution: A Biological and Palaeontological Approach.* Wokingham: Addison-Wesley.
Smith, J. L. B. 1956. *Old Fourlegs: The Story of the Coelacanth.* London: Longmans.
Smolin, L. 1997. *The Life of the Cosmos.* London: Weidenfeld & Nicolson.
Söll, D. and RajBhandary, U. L. 2006. 'The genetic code – thawing the "frozen accident"', *Journal of Biosciences*, 31, 459–63.
Southwood, R. 2003. *The Story of Life.* Oxford: Oxford University Press.
Stringer, C. and McKie, R. 1996. *African Exodus: The Origins of Modern Humanity.* London: Jonathan Cape.

Sulston, J. E. 2003. '*C. elegans*: the cell lineage and beyond', in T. Frängsmyr, ed., *Les Prix Nobel, The Nobel Prizes 2002: Nobel Prizes, Presentations, Biographies and Lectures*, 363–81. Stockholm: The Nobel Foundation.

Sykes, B. 2001. *The Seven Daughters of Eve: The Science that Reveals our Genetic Ancestry*. London: Bantam.

Thompson, D. A. W. 1942. *On Growth and Form*. Cambridge: Cambridge University Press.

Thompson, S. P. and Gardner, M. 1998. *Calculus Made Easy: Being a Very-Simplest Introduction to Those Beautiful Methods of Reckoning Which Are Generally Called by the Terrifying Names of the Differential Calculus and the Integral Calculus*. Basingstoke: Palgrave Macmillan.

Thomson, K. S. 1991. *Living Fossil: The Story of the Coelacanth*. London: Hutchinson Radius.

Trivers, R. 2002. *Natural Selection and Social Theory*. Oxford: Oxford University Press.

Trut, L. N. 1999. 'Early canid domestication: the farm-fox experiment', *American Scientist*, 87, 160–9.

Tudge, C. 2000. *The Variety of Life: A Survey and a Celebration of All the Creatures that Have Ever Lived*. Oxford: Oxford University Press.

Wallace, A. R. 1871. *Contributions to the Theory of Natural Selection: A Series of Essays*. London: Macmillan.

Weiner, J. 1994. *The Beak of the Finch: A Story of Evolution in our Time*. London: Jonathan Cape.

Wickler, W. 1968. *Mimicry in Plants and Animals*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Williams, G. C. 1966. *Adaptation and Natural Selection: A Critique of Some Current Evolutionary Thought*. Princeton: Princeton University Press.

Williams, G. C. 1992. *Natural Selection: Domains, Levels, and Challenges*. Oxford: Oxford University Press.

Williams, G. C. 1996. *Plan and Purpose in Nature*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Williams, R. 2006. *Unintelligent Design: Why God Isn't as Smart as She Thinks She Is*. Sydney: Allen & Unwin.

Wilson, E. O. 1984. *Biophilia*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Wilson, E. O. 1992. *The Diversity of Life*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Wolpert, L. 1991. *The Triumph of the Embryo*. Oxford: Oxford University Press.

Wolpert, L.; Beddington, R.; Brockes, J.; Jessell, T.; Lawrence, P.; and Meyerowitz, E. 1998. *Principles of Development*. London and Oxford: Current Biology / Oxford University Press.

Young, M. and Edis, T. 2004. *Why Intelligent Design Fails: A Scientific Critique of the New Creationism*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.

Zimmer, C. 1998. *At the Water's Edge: Macroevolution and the Transformation of Life*. New York: Free Press.

Zimmer, C. 2002. *Evolution: The Triumph of an Idea*. London: Heinemann.

معجم إنجليزى عربى

A
- Analogue
متناظر: تماثل في وظيفة مشتركة لا يرجع لسلف مشترك، مثل جناح الحشرة وجناح الخفاش.
- Apoptosis
الموت المبرمج للخلية.
- Archaea
الأركيات: ميكروبات سحيقة القدم، يقوم رنا بدور أساسى في تكاثرها، وقد تكون أقدم أشكال الحياة.
- Astigmatism
اللابؤرية، استجمية: عيب في العدسات عموما أو في قرنية العين، حيث يؤدى عدم استواء انحناءها إلى عدم القدرة على تركيز الضوء في نقطة أو بؤرة واحدة، بما يؤدى إلى رؤية غير واضحة.
- Axon
محوار: امتداد من الخلية العصبية يقوم عادة بنقل النبضات العصبية بعيدا لخارج الخلية.
B
- Bedrock
صخر الأديم: الصخر الصلب الموجود تحت مواد رخوة كالطين والرمل والتربة.
- Blastula
الأريمـــة، البلاستولا: مرحلة مبكرة من تنامى الجنين، تتكون من كرة من الخلايا لا تزال بالحجم الأصلى للبويضة المخصبة.
- Blueprint
طبقة التصميم الزرقاء: صورة فوتوغرافية لتصميم معمارى أو ميكانيكى على

ورق أزرق، يتم منها تنفيذ التصميم في بناء معمارى مثلا أو ماكينة.
C
- Cadherins كادهرينات: جزيئات لصق الخلايا في الفقاريات تعتمد في عملها على الكالسيوم.
- Canopy ظلة: مثل ظلة الغابة التي يسببها تشابك قمم الأشجار.
- Capsomeres قسيمات الغلاف: تجمع وحدات بروتينية لتشكل جزءا من بعض الفيروسات.
- Chloroplast كلوروبلاست: حبيبة تحمل الكلورفيل في النباتات والطحالب.
- Clade فرع، تفرع: مجموعة من الكائنات الحية تطورت من سلف مشترك.
- Clade selection الانتخاب التفرعى، انتخاب الفرع: نوع من آليات التطور بطريقة تختلف عن الانتخاب الطبيعى.
- Cladists أتباع المذهب التفرعى: مذهب في التاكسونوميا يصنف الكائنات الحية حسب الخصائص المشتركة التي تميز إحدى المجموعات عن الأخرى.
E
- Ecology إيكولوجيا: فرع البيولوجيا الذي يدرس العلاقة بين الكائنات الحية وبيئتها.
- Ecosystem منظومة إيكولوجية:
- Ectoderm أديم خارجى: طبقة في تنامى الجنين.
- Endoderm أديم داخلى: طبقة في تنامى الجنين.
- End organ

عضو الانتهاء: عضو ينتهى اليه العصب.
- Epigenesis التخلق المتعاقب: نظرية بأن الجنين يتكون بسلسلة من الأشكال المتعاقبة، وتناقض بذلك نظرية التخلق السبقى التي تنص على أن كل أعضاء الجنين موجودة مسبقا في الخلية الجرثومية ***(preformation)***.
- Epigenetics وراثيات إضافية: تغيرات في مظهر الجين ناتجة عن ميكانزمات أخرى غير تغيرات D N A.
G
- Gastulation تحوصل فوهى: مرحلة في تنامى أجزاء من الجنين.
H
- Habitat مأوى بيئى، موطن بيئى.
- Homeomorphic تناظر الأجزاء: تماثل تشريحى في أحد الأجزاء في حيوانات متعددة مثل يد الخفاش ويد الإنسان، بما يدل على وجود سلف مشترك.
- Homeotic genes جينات تحديد الموضع: جينات تحدد موضع الأعضاء في الجنين ومحاور تناميه.
- Homology تشاكل: تماثل موروث من سلف مشترك، بخلاف التماثلات التي ترجع لوظائف مشتركة وليس لسلف مشترك مثل؛ جناح الحشرة وجناح الخفاش.
I
- Ichneumonid wasp الدبور النمس.
- Invagination انغماد: إحدى آليات تنامى الجنين.

K

- *Kaleidoscope*

المشكال، الكاليدوسكوب: أداة تحوى قطعا متحركة من زجاج ملون تعطى عند تحريكها أشكالا لا حصر لها.

L

- *Linear regression*

الارتداد المستقيم، الانحدار المستقيم، (إحصاء).

M

- *Marginal cost*

تكلفة حدية (اقتصاد): الزيادة في التكاليف الكلية لإحدى المؤسسات بسبب إنتاج وحدة زائدة من المُخرج.

- *Marsupials*

كيسيات، جرابيات: ثدييات تولد صغارها غير مكتملة، فتحمل عادة في كيس لدى الأنثى، وتوجد عادة في أمريكا أو أستراليا، مثل حيوان الكنغر

- *Mesoderm*

أديم أوسط: طبقة في تنامى الجنين.

- *Mitochondria*

ميتوكوندريا: إحدى العضيات في سيتوبلازم الخلية، ولها دور مهم في إنتاج الطاقة للخلية.

N

- *Nematode*

دودة خيطية.

- *Neuron*

عصبون: خلية عصبية وزوائدها، خلية متخصصة في نقل النبضات العصبية.

- *Neurulation*

تكوين أنبوبة الأعصاب: مرحلة في تنامى الجنين.

O

- *Optic vesicle*

حويصلة بصرية: تكوين في تنامى الأجنة.

P
- Pharyngeal arches أقواس بلعومية: تكوينات في تنامي الجنين.
- Photon فوتون: كم من أشعة الضوء أو غيرها من الأشعة الكهرومغناطيسية.
- Phylogenetic tree الشجرة التطورية للسلالة: تاريخ الأنساب.
- Preformation التخلق السبقي: التكوين المسبق للأجنة.
R
- Redwood
شجر الجبار: شجر صنوبرى ضخم يكثر في أمريكا في كاليفورنيا، ولون خشبه أحمر، وقد يصل طوله إلى ١٠٠ متر، ويعمر طويلا.
S
- Scavengers القمامات: حيونات تقتات على الجيف والفضلات.
- Smokers دخانيات: كائنات تقطن في أعماق المحيط، وتستمد طاقتها من مصادر بركانية وليس من الشمس.
- Speciation تنواع: تكوين أنواع جديدة تتطور من أنواع قديمة.
- Spontaneous generation التولد التلقائي أو الذاتي: نظرية بإمكان تولد كائنات حية تلقائيا من مادة ميتة.
- Sympatric speciation تنواع مع التداخل: تداخل جغرافي بين منطقة النوع الجديد والنوع الأصلي.
T
- Teleosts العظميات: الأسماك العظمية وتشمل معظم السمك.
V
- Vas deferens الأسهر – قناة نقل المني.

معجم عربى إنجليزى(*)

(أ)	
– أديم أوسط:	*Mesoderm*
– أديم خارجي:	*Ectoderm*
– أديم داخلي:	*Endoderm*
– الارتداد المستقيم، الانحدار المستقيم: (إحصاء)	*Linear regression*
– الأركيات، السحيقات:	*Archaea*
– الأريمة، بلاستولا:	*Blastula*
– الأسهر، قناة نقل المنى :	*Vas deferens*
– أقواس بلعومية :	*Pharyngeal arches*
– انتخاب تفرعي:	*Clade selection*
– انحراف البؤرة الاستجمى :	*Astigmatism*
– انغماد :	*Invagination*
– إيكولوجيا :	*Ecology*
(ت)	
– تحوصل فوهي (أجنة)::	*Gastrulation*
– تخلق متعاقب (أجنة):	*Epigenesis*
– تخلق سبقي، تكوين مسبق :	*Preformation*
– تشاكل:	*Homology*
– تفرعيون:	*Cladists*

(*) ترد في هذا المعجم الكملة وترجمتها دون شرح تفصيلى، حيث إن هذا الشرح سبق ذكره في المعجم الإنجليزى العربى. (المترجم)

Marginal cost	– تكلفة حدية (اقتصاد):
Neurulation	– تكوين أنبوبة الأعصاب (أجنة):
Homeomorphic	– تناظر الأجزاء :
Speciation	– تنواع:
Sympatric speciation	– تنواع مع التداخل (الجغرافى) :
Spontaneous generation	– التولد التلقائى، التولد الذاتى:
	(ج)
Homeotic genes	– جينات تحديد الموضع :
	(ح)
Optic vesicle	– حويصلة بصرية (أجنة):
	(د)
Ichneumonid wasp	– الدبور النمس:
Smokers	– الدخانيات (بيولوجيا) :
Nematode	– الدودة الخيطية :
	(ش)
Phylogenetic tree	– الشجرة التطورية للسلالة، شجرة تاريخ الأنساب:
Redwood	– شجرة الجبارة:
	(ص)
Bedrock	– صخر الأديم:
	(ع)
Neuron	– عصبون :
End organ	– عضو الانتهاء:
Teleosts	– عظميات، أسماك عظمية :
	(ف)
Clade	– فرع (تاكسونوميا):

Photon	- فوتون:
	(ق)
Capsomeres	- قسيمات الغلاف (تبلور):
Scavengers	- القمامات:
	(ك)
Cadherins	- كادهرينات:
Kaleidoscope	- كاليدوسكوب، مشكال:
Chloroplast	- كلوروبلاست:
Marsupials	- الكيسيات - الجرابيات:
	(م)
Habitat	- مثوى بيئى، موطن بيئى، مأوى بيئى:
Axon	- محوار :
Ecosystem	- منظومة ايكولوجية :
Mitochondria	- ميتوكوندريا:
Epigenetics	- وراثيات إضافية :
Apoptosic	- الموت المبرمج للخلية:

المؤلف فى سطور:

ريتشارد دوكتر

من كبار علماء البيولوجيا والحيوان فى إنجلترا. وهو زميل فى الجمعية الملكية (للعلوم) وكذلك فى الجمعية الملكية للآداب. وقد تلقى الكثير من الجوائز ومظاهر الحفاوة والتكريم فى مجالى العلوم والأدب معًا. شغل دوكتر كرسى الأستاذية لفهم الجماهير للعلم بجامعة أوكسفورد حتى وصوله إلى سن التقاعد ٢٠٠٨. دوكتر من أشد المتحمسين للداروينية وأغلب كتبه تتناول تراث داروين العلمى وما تلاه من مدارس الداروينية الجديدة.

المترجم فى سطور:

مصطفى إبراهيم فهمى

- دكتوراه فى الكيمياء الإكلينيكية جامعة لندن.
- عضو لجان المجلس الأعلى للثقافة.
- عضو مجلس أمناء المركز القومى للترجمة.
- ترجم ما يزيد عن ستين كتابًا فى الثقافة العلمية.
- فاز بعدة جوائز عن ترجمة الثقافة العلمية.

التصحيح اللغوى : **محمــــد شــلبـــى**

الإشــراف الفنى : **محســـن مصطفــى**

يعد ريتشارد دوكنز مؤلف هذا الكتاب من كبار علماء البيولوجيا والحيوان فى إنجلترا ويعمل أستاذا فى جامعة أوكسفورد. وقد دهش دوكنز لوجود مثل هذه النسبة من منكرى حقيقة التطور ومن المؤمنين حرفيًا بسفر التكوين باعتباره مصدرًا للتاريخ، ويصف دوكنز هؤلاء "التكوينيين" بأنهم "منكرو التاريخ" الحقيقى، الذى أثبتته العلوم الحديثة. يشن دوكنز فى هذا الكتاب هجومًا عنيفًا على منكرى حقيقة التطور أو منكرى التاريخ، ويوضح بالأدلة والبراهين الجازمة رسوخ حقيقة التطور وسخافة مزاعم منكريه، ويستمد أدلته وبراهينه من الأمثلة الحية للانتخاب الطبيعى. ومن الأدلة الواضحة فى سجل الحفريات، ومن الطول الهائل لعمر الكون الذى تم التطور فيه، كما تقيسه الساعات الطبيعية مثل حلقات الأشجار والنظائر المشعة . كما أن هناك أدلة حاسمة مستمدة من علم الوراثيات الجزيئية، الذى يبحث ويقارن الوراثيات على مستوى الجزيئات الكيميائية فى الكائنات الحية.